RÉFLEXIONS

SUR LA NATURE ET SUR L'APPLICATION

DU

CARACTÈRE GÉOLOGIQUE,

PAR

L. FRAPOLLI.

EXTRAIT DU BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE,
2e série, t. IV, p. 604, séance du 19 avril 1847.

« ..... Le monde se transforme, une autre ère commence, fille de celle qui l'a précédée, mère de celles qui lui succèderont....... »

LAMENNAIS.

PARIS.
IMPRIMERIE DE L. MARTINET,
RUE JACOB, 30.
1847.

RÉFLEXIONS

SUR LA NATURE ET SUR L'APPLICATION

DU

CARACTÈRE GÉOLOGIQUE.

La discussion entre l'efficacité des différents caractères dont on peut se servir pour la détermination de l'âge des formations sédimentaires, et partant de celui des roches éruptives, date de loin. Des esprits supérieurs s'y sont essayés; on ne saurait ajouter rien de bien nouveau à ce que l'on a dit sur ce sujet. Les théories sur lesquelles s'appuie le caractère géologique sont anciennes; et pourtant il semblerait presque qu'on en fût encore à l'état d'incertitude. En parcourant plusieurs pays étrangers, j'ai trouvé souvent tant de défiance contre l'emploi du caractère géologique, en lisant différents ouvrages, même français, et des plus récents, j'ai dû m'apercevoir qu'il était encore si peu connu, que je ne crois pas tout à fait inutile de dire quelques mots sur sa nature et sur la manière dont il convient de l'appliquer.

Trois genres de caractères se sont toujours disputé l'honneur d'être le pivot de la géologie. L'importance de ces différents auxiliaires a diminué ou s'est accrue à mesure que les connaissances positives de la science se sont développées. C'est ainsi que le caractère minéralogique a presque exclusivement régné pendant un temps; que plus tard le caractère paléontologique l'a dépassé de beaucoup en influence; que le caractère géologique est devenu à son tour le plus important, et que son application sera de plus en

1

plus décisive, à mesure qu'un plus grand nombre de travaux précis et de cartes topographiques exactes pourront servir de base à son emploi.

Nous fournir un signe de reconnaissance authentique, dont on puisse faire usage dans les endroits les plus éloignés d'un bassin, lorsqu'on en connaît bien une petite partie, c'est là le grand avantage du caractère que l'Anglais Smith a, le premier, employé à la détermination des terrains de sédiment; avantage réel et surtout fort commode, mais aussi le seul, et, comme on le voit, subordonné au principe stratigraphique, et dont l'efficacité, principalement pour ce qui regarde les terrains plus modernes, ne saurait être grande lorsqu'on quitte les bassins modèles (1). M. Buckland (2);

(1) Il n'est pas hors de propos de rappeler à cet égard un fait cité par un de nos confrères, qui, par sa vaste science paléontologique, est sans contestation une des premières notabilités européennes.

« Si l'on compare les espèces de l'étage oxfordien de la Russie méridionale, observées par M. Hommaire de Hell, aux espèces du même » étage, rencontrées dans la Russie septentrionale par MM. Murchison, » de Verneuil et de Keyserling, on s'apercevra que sur les *sept* espèces » de Céphalopodes de la Russie méridionale (dont six se trouvent simultanément en France), une seule, l'*Ammonites Brightii*, est commune; tandis qu'il s'en trouve dans la Russie septentrionale *vingt-six* tout à fait distinctes. »

M. Alcide d'Orbigny a déduit de ce fait que les mers du nord et celles du midi de la Russie appartenaient à des bassins différents. Je le crois également. Mais alors que penser de ce caractère spécifique qui, suivant quelques personnes, doit servir infailliblement à distinguer les formations successives, et qu'on voit ici circonscrit au même bassin?

Cette différence des espèces fossiles dans des dépôts de même âge, selon les divers bassins, est encore plus saillante pour les terrains tertiaires. Laissons continuer le même savant.

« De 32 espèces tertiaires de la Bessarabie, *dix* seulement sont » communes aux terrains de la Volhynie et de la Podolie, et *aucune* aux » terrains de France de la même époque. »

Or, l'auteur de ces considérations, en s'appuyant sur l'observation de leur facies d'ensemble, regarde tous ces terrains, ainsi que ceux du bassin de Vienne. avec MM. de Hauer et Bronn, comme contemporains des faluns de la Touraine et de Bordeaux.

Voyez pour de plus grands détails la *Paléontologie du voyage de M. X. Hommaire de Hell dans les steppes de la Russie méridionale*, par M. Alcide d'Orbigny, IIIe vol., p. 435 et suivantes, et ce que dit M. de La Bèche dans son *Art d'observer en géologie* (trad. de M. de Collegno; Paris, 1838, p. 17), ainsi que M. de Verneuil (*Bull. de la Soc. géol. de France*, t. XI, p. 178).

(2) Séance extraordinaire de la Soc. géol. de France, à Boulogne-sur-Mer, septembre 1839.

M. Prévost, dans son beau Mémoire sur la submersion itérative des continents; M. Boué, en cent endroits différents; Geoffroy-Saint-Hilaire lui-même, le zoologiste éminent, se sont élevés contre cette omnipotence que certaines personnes voudraient reconnaître au caractère paléontologique. M. Alexandre Brongniart, l'illustre auteur de la *Géologie des environs de Paris*, s'est prononcé, lui aussi, pour les déductions tirées de la stratification. M. Dumont vient de résumer plusieurs des principales objections et de s'élever contre la prépondérance de la paléontologie dans les questions géologiques. MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont ont prouvé, par toute leur vie consacrée à l'établissement et au développement des lois stratigraphiques, le cas limité qu'ils faisaient de ce même caractère. Son application absolue conduirait nos petits-fils ou nos successeurs à regarder comme contemporains et quasi-cohabitants les hommes et les mammouths dont les dépouilles auraient été enfouies pêle-mêle dans les dépôts meubles actuels stratifiés par une submersion des continents, si une partie de nos terres, après avoir séjourné au fond de l'Océan, venait à revoir le jour encore une fois. Que l'on ajoute à tout cela l'incertitude dans laquelle se trouvent les zoologistes eux-mêmes sur la définition de l'espèce et même du genre (1).

Le caractère zoologique, appliqué à la détermination des couches terrestres, n'a donc pour moi qu'une valeur de comparaison (2). Les considérations minéralogiques ne pouvant conduire

(1) Tout le monde reconnaît que les genres peuvent se conserver à travers plusieurs époques. Or, voici pour les espèces : ce sont les résultats des recherches faites avec les mêmes collections sur les fossiles du crag de l'Angleterre par un paléontologiste de première ligne de Paris, M. Deshayes, et par un savant également assez célèbre en Allemagne. M. Deshayes a trouvé parmi les fossiles du crag de l'Angleterre 50 pour 100 de coquilles analogues à celles qui vivent de nos jours dans les mers septentrionales. — Pour M. Beck de Copenhague, il n'y en a point d'analogues.

M. Desnoyers, qui n'a cessé de s'occuper de la faune tertiaire, et qui rapporte le fait que nous venons de citer (*Bull. géol.*, séance du 3 avril 1837), ne s'était pas fait faute d'indiquer la multiplicité des causes qui font varier les espèces d'une même époque sous les différents climats, et même dans les différentes parties d'un bassin, la composition des eaux, la profondeur des courants, la disposition et la nature des côtes et du fond, les vents, les saisons, etc. (*Rapport des travaux de la Soc. géol. de France pour* 1834). On sait du reste avec quelle facilité on accoutume les espèces marines à l'eau douce.

(2) Ce n'est qu'en observant le caractère général d'ensemble des productions organiques d'une époque, et non par la subdivision des espèces,

534

que bien rarement à une conclusion quelconque, et amenant souvent le géologue à des résultats complétement erronés (1), c'est donc sur le caractère géologique, sur la stratigraphie, la seule base véritable de la science, qu'on doit porter, je crois, son attention principale dans la détermination des formations inconnues (2).

---

que l'on peut arriver par l'examen des fossiles à des déterminations non erronées. M. Élie de Beaumont, qui dans ses cours a souvent prêché ce principe, se sert d'une figure géométrique pour représenter aux sens la marche progressive du développement des genres. Il a imaginé un losange dont les côtés tournent autour des angles comme autour de charnières, et qui passe ainsi par toutes les formes possibles, depuis la plus large jusqu'à la plus allongée ou *vice versâ*. Si, lorsqu'après avoir bien étudié dans un bassin donné l'époque de l'apparition d'un genre fossile, le mode de son développement et ses transformations successives dans la durée des siècles, on observe dans un terrain inconnu des individus dont la forme générale se rapproche plus ou moins de l'état de ce genre à son origine, ou bien d'un développement plus complet, on pourra juger par analogie de la hauteur à laquelle on se trouve dans l'âge des formations. C'est en procédant d'une manière analogue et par un sentiment exquis de l'état de l'organisme à chaque période, sentiment qui découvre la loi générale au milieu de modifications innombrables, et qui résulte de la comparaison do millions d'individus, que M. Alcide d'Orbigny et M. de Verneuil sont parvenus, dans la détermination des terrains de contrées éloignées, par la simple comparaison des fossiles, à ce degré de sûreté qui nous étonne. Ce n'est qu'en suivant ce principe que les meilleurs paléontologistes arrivent à de bonnes conclusions, quoique souvent ce ne soit qu'en protestant de leur dévouement à la délimitation des formations par des espèces bien définies et soi-disant caractéristiques. Ces considérations générales sont les seules qui permettent un emploi sûr du caractère organique. L'adoption franche de ce principe par la majorité des paléontologistes ne ferait qu'accroître l'importance de leur science Dans ces limites les paroles de M. Deshayes « point de géologie sans zoologie » seront l'expression de la vérité.

(1) Dans un ouvrage allemand publié en 1825 par un savant qui a beaucoup fait pour la géologie, il était dit, par exemple, avec le plus grand sérieux du monde, que: « tous les grès blancs et qui ont un as- » pect luisant appartiennent au quadersandstein. » On ne s'embarrassait guère de savoir si ce *quadersandstein* faisait partie du grès bigarré, du lias ou de la craie, même supérieure; peu importait si pour cela on était obligé de mêler toutes les formations, et de dessiner sur les cartes, comme limites géologiques, tant de lignes courbes, à désespérer le géologue le plus exercé, qui eût cherché à en déduire un profil.

(2) M. Dufrénoy a l'habitude de ranger, parmi les caractères qui peuvent faire connaître les minéraux suivant l'ordre de leur importance, les caractères *géométriques* et *chimiques*, les caractères

L'axiome que les couches supérieures dans des sédiments horizontaux ou presque horizontaux sont également celles qui ont été formées en dernier lieu, est le fondement de la géologie. La science stratigraphique nous apprend à les distinguer des couches inférieures, même dans les cas très variés où elles ne sont plus dans leur position originaire. La superposition transgressive, lorsqu'elle existe réellement, étant un indice certain d'une différence dans l'âge de deux dépôts, nous enseigne à déterminer dans toutes les circonstances lequel est le plus ancien. L'observation des débris organiques renfermés dans les couches, et même celle de leur aspect minéralogique, devient un moyen de reconnaissance. Les roches éruptives sont classées d'après la hauteur où elles se trouvent parmi les dépôts de sédiment (1). Ce genre de recherches n'est

---

extérieurs et les caractères *empiriques*. S'il était permis de faire un rapprochement, je comparerais aux premiers le caractère géologique et le caractère paléontologique employe largement; tandis que ce dernier caractère, lorsque l'on considère les espèces comme caractéristiques, et les propriétés minéralogiques, se placeraient à côté des deuxièmes et des troisièmes. Ce n'est que par le caractère géologique et paléontologique dans son ensemble, qu'on peut faire de la géologie en grand, de cette géologie qui établit le canevas de toute une contrée, espèce de triangulation géodésique au milieu de laquelle on peut plus tard déterminer les points secondaires. Mais dans cette dernière opération, dans la peinture monographique des contrées subordonnées, la paléontologie par espèces et l'aspect minéralogique peuvent être très utiles et même nécessaires. La différence entre ces deux classes de caractères est aussi grande qu'elle l'est entre un continent ou une région étendue et un groupe circonscrit de montagnes ou un petit coin de pays, qu'elle l'est entre les maîtres de la science ou les simples adeptes qui se débattent encore contre les difficultés qu'elle présente. On ne peut faire la géologie ou la paléontologie de l'Amérique, de l'Asie, de la Russie ou de la France, qu'en employant les grands caractères; on peut parfaitement s'en passer lorsqu'on ne fait plus que glaner dans quelques massifs isolés de ces pays.

(1) Déjà M. Boné, dans son *Tableau de la classification des terrains*, publié en 1827, a essayé un classement général des roches plutoniques, d'après l'âge des roches de sédiment qu'elles ont bouleversées. On a d'ailleurs cherché à distinguer les roches éruptives par leurs caractères pétrographiques. M. Fournet, au contraire, dans ses *Etudes sur les Alpes*, s'efforce de grouper ces roches par époques géologiques, sans égard à leur aspect ni même à leur composition minéralogique. Il se fonde, pour réunir les groupes, sur les passages d'une roche à l'autre, sur les récurrences de certains éléments, sur la composition chimique et sur l'époque de leur éjection. De toutes ces méthodes, celle qui consiste à classer ce genre de roches d'après leur injection

point difficile et conduit à des résultats assez sûrs, lorsqu'on ne sort pas d'un même bassin et que les couches sédimentaires ne sont pas trop bouleversées. Dans ce dernier cas, leur détermination devient beaucoup moins facile. On arrive même à un point où ces couches sont tellement redressées, contournées, et brisées, où des causes, soit générales, soit particulières, et postérieures à leur dépôt, en ont tellement masqué et effacé tous les caractères paléontologiques et minéralogiques, qu'il devient à peu près impossible d'arriver par ces seules données à une solution. Mais lorsqu'en quittant le bassin géologique que l'on a pris pour type, l'on veut étendre ces mêmes recherches à des contrées éloignées, et qu'on veut comparer au premier des bassins qui n'ont avec lui aucun rapport de continuité, que des continents ou des chaînes de roches massives ont complétement isolés dès leur origine, alors ni la minéralogie, ni la paléontologie telle qu'on la conçoit communément, ne sauraient être d'un secours bien certain. La stratigraphie elle-même, considérée comme une série de faits isolés, nous fait défaut, et l'on ne trouve une issue qu'en remontant aux lois qui la régissent, qu'en suivant la seule voie qui nous puisse conduire à la lumière; cette voie, c'est celle que la pensée philosophique du Danois Niels Steensen (vulgairement Sténon) avait entrevue à Florence dès 1669, que Lazzaro Moro a indiquée en 1740, que les recherches de Humboldt sur la constance de la direction des couches primaires nous ont ouverte il y a près d'un demi-siècle. C'est alors qu'il faut recourir au grand principe du parallélisme reconnu dans les directions des soulèvements contemporains, principe qui suffit à toutes les exigences, qui reste toujours debout, même là où les autres sciences auxiliaires sont obligées d'avouer leur impuissance (1).

Ce principe, qui s'appuie d'un côté sur l'observation du fait que les couches relevées par des roches massives ayant un alignement

---

dans les couches sédimentaires me paraît encore la seule qui, dans l'état actuel de la science, présente quelques chances certaines de succès.

(1) Voici plus précisément les degrés par lesquels on est arrivé à la découverte des lois du parallelisme des directions des couches contemporaines.

N. Steensen et L. Moro ont reconnu avec plus ou moins de clarté la discordance de stratification des dépôts d'âge différent; Humboldt (*Journal de physique*, messidor an IX; *Lettre à La Metherie*) a appelé l'attention sur la constance des directions des roches schisteuses; M. Élie de Beaumont a trouvé la relation entre la direction des dislocations et les époques de discordance de stratification.

identique, appartiennent à une même époque de formation, est d'ailleurs en rapport intime avec les lois générales que l'on déduit de considérations purement théoriques; de ces lois qui découlent de l'hypothèse de la fusion primitive de notre globe, de la chaleur élevée dont son centre serait encore le siége, et de son refroidissement successif. Je ne remettrai pas en question ici cette hypothèse sortie un jour des méditations de Descartes et de Leibnitz, que Buffon a entourée du prestige de son style majestueux et dont la première idée se perd dans la nuit des temps (1). Je ne défendrai point l'hypothèse de la chaleur centrale de toutes les autres conceptions sans nombre et plus ou moins vraisemblables que l'imagination des hommes a enfantées dans l'espoir de deviner la formation de l'univers et de ses parties. Herschel avait soupçonné que le soleil et les planètes n'étaient que des anciennes nébuleuses condensées. Nos confrères M. Angelot et M. Lenglet se sont attachés à expliquer l'accumulation de cette chaleur par la concentration de la matière primitive et par de profonds raisonnements sur les lois de l'attraction (2). Le génie de Laplace, les calculs de Fourier, les observations positives de Hutton, de Humboldt, d'Arago, de M. de Buch, de d'Aubuisson, de Fox, etc., une compilation heureuse de ces éléments par M. Cordier et quelques expériences qu'il a faites dans les mines, ont achevé de lui donner corps et consistance. En la rapprochant du mode d'origine probable de toutes les planètes, en l'appuyant des lois imprescriptibles de la physique et du mouvement des astres, Laplace lui a imprimé un tel degré de probabilité qui s'approche bien de la certitude. La découverte du parallélisme des chaînes de montagnes de même âge est à la fois une des con-

(1) Il serait tout à fait hors du cadre et du but de ce petit travail de toucher à l'histoire de toutes les phases par lesquelles l'idée cosmogonique a passé avant d'arriver au point pratique où elle en est aujourd'hui. D'ailleurs, comme, dans tous les cas, je serais forcé de me limiter à quelques indications, je ne pourrais que redire ce qu'un de nos confrères, M. Delbos, a résumé avec tant de clarté et de concision, dans une note courte, mais empreinte d'un haut sentiment philosophique, qu'il a lue à la séance du 18 mai 1846 (*Bull. de la Soc. géol. de France*, 2e série, t. III, p. 510).

(2) Mém. de M. F. Angelot sur les conséquences de l'attraction, etc. (*Bull. de la Soc. géol. de France*, t. XI, p. 136, 1840), et notes inédites de mon ami.

Lenglet, *Mém. sur l'état primitif et l'organisation de l'univers*. Paris, 1837.

séquences les plus fécondes et la meilleure preuve de cette supposition (1).

L'hypothèse de la chaleur centrale est désormais le lien de réunion de tous les faits observés, la seule dans laquelle ces mêmes faits puissent rentrer sans opposition ; c'est là, on peut le dire, un véritable *principe ;* principe sublime sans lequel la géologie ne serait plus qu'un amas de faits incohérents et inexplicables. La presque totalité des géologues s'y sont rangés ; personne ici, je crois, n'est disposé à le contester. Mais même parmi ceux qui ont adopté ces idées comme base fondamentale, on s'est divisé sur les effets qui doivent résulter, à la surface de la terre, du refroidissement progressif de son intérieur. La Société connaît les différentes opinions qui ont été émises sur ce sujet ; je ne les discuterai point, car cela m'entraînerait beaucoup trop loin de mon but ; je me bornerai à indiquer les plus saillantes. Des trois principaux systèmes qu'on a imaginés pour expliquer la cause des dérangements des couches terrestres, l'un est par trop contraire à toutes les lois de la physique pour qu'on se donne la peine de le discuter ; la simple contraction de l'écorce déjà solidifiée et refroidie ne saurait donner lieu à des épanchements du liquide intérieur (2), car il est évident que cette contraction ne saurait être équivalente à la diminution de volume que doit éprouver une couche liquide lors de sa solidification, eu égard surtout à la nature probablement métallique de notre globe (3). L'autre système, mieux raisonné, entre plus profondément dans la question ; c'est celui qui consiste à supposer que le bain liquide augmente de volume par la cristallisation, et qu'il se produit ainsi des pressions énormes à la surface intérieure de l'écorce terrestre ; ce système est beaucoup plus spécieux. Car il est vrai que nous ne connaissons à peu près que deux corps, l'eau et la fonte blanche, qui augmentent de

---

(1) Les auteurs que nous avons cités ci-dessus ne sont point placés suivant l'ordre chronologique de leurs observations, mais d'après la partie de l'idée théorique qu'ils ont illustrée et fait avancer par leurs travaux.

(2) N'ayant à considérer que les manifestations et les effets des matières intérieures à la surface, je ferai abstraction de l'hypothèse connue, et qui me paraît jouir d'une grande probabilité, que ces matières, soumises à une pression énorme (d'après l'épaisseur actuelle de la croûte, d'environ 10,000 atmosphères), constituent un liquide homogène, dont les molécules ne seraient pas très mobiles.

(3) Voyez, à ce sujet, les discussions qui ont eu lieu à la Société géologique de France (*Bull.*, séance du 21 mars 1842).

volume au moment de leur solidification, mais on pourrait répondre, d'un côté, que personne ne saurait déterminer avec certitude la nature des substances qui forment le noyau de notre globe; de l'autre, que s'il y avait diminution de volume dans la matière du noyau liquide lors de son passage à l'état solide, la densité de ces matières étant augmentée, les parties solidifiées ne pourraient surnager, mais qu'elles seraient attirées vers le centre de la terre pour former ainsi un globe à noyau solide, entouré d'un bain en fusion. Ces arguments n'ont qu'une valeur apparente. D'abord je ne saurais comprendre pourquoi l'on devrait supposer gratuitement que l'intérieur de la terre n'est formé que de matières qui augmentent de volume en se solidifiant, lorsque les propriétés de la grande majorité des substances qui entrent dans la masse des déjections soit anciennes, soit modernes, et que nous sommes à même d'analyser, viennent donner un démenti péremptoire à une telle opinion. La théorie des couches liquides de densités différentes, qui surnagent les unes aux autres dans l'intérieur de la terre, théorie émise par Laplace et prouvée par les observations sur la densité moyenne de la terre, qui donnent à l'ensemble de notre globe une pesanteur spécifique environ double de celle des roches de la surface, répond suffisamment à la deuxième objection (1). D'ailleurs la régularité remarquable que l'on observe dans la disposition des grandes chaînes de montagnes appartenant à un même soulèvement, qui s'étendent en ligne droite sur d'immenses étendues à travers les continents et les mers; le parallélisme des chaînes de même âge sur tous les points du globe qui appartiennent à une zone déterminée, sont des faits qui s'opposent directement à l'admission des deux explications que nous venons d'indiquer (2).

---

(1) Calculs donnés par M. Élie de Beaumont dans ses cours, d'après les expériences les plus récentes, celles de M. le professeur Reich de Freiberg (*Bull. de la Soc. géol. de France*, séance du 21 mars 1842), et Mém. de M. Angelot sur les conséquences de la contraction des roches ignées lors de leur solidification (*Bull. géol.*, t. XIV, p. 49).

(2) Je ne pourrais me dispenser de rappeler ici un système qui a été remis sur le tapis à plusieurs reprises et avec insistance; j'entends parler de celui qui attribue à des changements présumés de l'axe terrestre les dérangements et la variété qu'on observe dans la surface exondée de notre planète. Ce système, dont l'idée était maintes fois venue à l'esprit de plusieurs physiciens qui ne crurent pas devoir s'y arrêter, rappelé par un mot que l'imagination vaste, mais toujours réglée, de Laplace, avait lancé et retiré en même temps, écrasé par les calculs de

M. Élie de Beaumont, qui, ainsi que tout le monde le sait, par un Mémoire qui est devenu un des points de départ de la

---

Poisson, a été entre autres plus ou moins longuement développé par K.-F. Klöden de Berlin et par M. Frédérik Klee, de Copenhague. M. Klee, dans son *Déluge* (publié en danois en 1842, en allemand en 1843, et plus tard en français), admet une sorte de chaleur interne de notre globe; mais il suppose que « son centre est occupé par un » noyau solide....; » que « l'écorce ne repose pas immédiatement sur ce » noyau, mais qu'elle forme autour de lui comme une voûte semblable » aux nuages qui voguent dans l'atmosphère.....; » que « des feux sou- » terrains occupent les grandes cavités intermédiaires. » Suivant cet auteur, tous les changements qui ont eu lieu à la surface de la terre sont dus à des déplacements d'axe qui ont pu se répéter nombre de fois, ou, en d'autres termes, à l'antagonisme de la *force centrifuge* et de la *force centripète*. Le soulèvement des grandes chaînes de montagnes et des hauts-plateaux des continents n'aurait lieu que par l'effet de la première, lors de l'établissement d'un nouvel équateur et en sa proximité. Son grand déluge universel a été causé par le dernier déplacement d'axe, dont M. Klee parvient à déterminer l'étendue de 90°, et toutes les circonstances les plus détaillées. Ce grand phénomène a dû avoir lieu après que l'homme était déjà répandu sur la terre, et plusieurs nations ont pu échapper au désastre, bien que ce cataclisme ait eu la puissance de donner aux continents une forme toute nouvelle, et de creuser tous les golfes et les mers méditerranéennes, y compris l'Atlantique, entre le Groenland et la Norvége. La variation périodique de l'axe actuel sur son orbite, variation évaluée par Laplace à environ $1\frac{1}{4}$°, et dont la cause, due à l'action perturbatrice du soleil et de la lune sur les couches matérielles accumulées autour de l'équateur terrestre (ménisque équatorial), est, depuis Newton, parfaitement connue en astronomie, ne résulterait que des dernières oscillations qui affectent encore l'axe déplacé. La cause des changements d'axe lui est inconnue; il ne la recherche pas; il ne veut point bâtir de nouvelles hypothèses. *Les changements d'axe sont un fait incontestable.* Cette idée s'est tellement emparée de M. Klee, qu'il va jusqu'à immoler la théorie de Laplace pour le cas où il serait reconnu qu'elle ne peut pas s'accorder avec son système. Les relèvements et abaissements qui ont lieu aujourd'hui à la surface de la terre sont dus à la force expansive du feu intérieur, qui tend à dilater généralement l'écorce du globe, « de même » qu'un gaz emprisonné dans un ballon en gonfle également toutes les » parties. » M. Klee développe ces idées dans un volume in-8, et il les appuie sur une foule d'assertions plus ou moins exactes, et de données historiques qu'il serait ici déplacé de discuter.

La même idée fondamentale du changement de l'axe du globe a été reproduite, dans ces derniers temps, par M. de Boucheporn, dans ses *Études sur l'histoire de la terre* (Paris, 1844); ses opinions sont entées sur cette idée, à l'appui de laquelle il fait intervenir la comète hypothétique de Halley et de Buffon, et qu'il cherche à prouver par

science (1), a, le premier, appelé l'attention sur l'ensemble de ces phénomènes; qui, le premier, a su rapporter au grand livre des lois éternelles les jalons que ses devanciers avaient fixés sur la route, a dû chercher à se rendre compte des causes générales qui ont entraîné la manifestation d'effets d'une régularité aussi surprenante sur la surface de la terre. D'après ce savant, il y a eu pour notre planète, et pour tous les corps célestes en général, une première période où, après la liquéfaction des substances formant la plus grande partie des nébuleuses originaires, une solidification

---

le parallélisme de M. de Beaumont. M. de Boucheporn admet, lui aussi, un noyau solide, une couche intermédiaire qu'il suppose en état de fusion, puis l'écorce. Pour lui, il n'est pas certain que la chaleur du globe soit centrale ni originaire; elle a pu être produite à la surface par des agents chimiques, et n'être que partielle. Dans sa longue dissertation, il développe le théorème que toutes les inégalités du globe ne seraient dues qu'aux ridements parallèles engendrés à plusieurs reprises, à de grands intervalles, et suivant des directions différentes sur l'écorce flottante, par le choc de comètes qui auraient causé chaque fois un nouveau déplacement de l'axe terrestre. Il trouve dans la disposition des principales chaînes de montagnes, la preuve de l'existence d'autant d'équateurs successifs.

Tous ces systèmes, qui ne sont pas fondés sur la recherche des faits ou qui reposent sur une appréciation incomplète et inexacte de ces mêmes faits, ne soutiennent pas un seul moment l'examen de l'observateur; quelque talent que l'on apporte à leur défense, ils se ressentiront toujours de leur origine. Ni les divagations savantes de M. de Boucheporn, ni les rêveries lourdement enfantées de M. Klee, ne sauraient affaiblir le moins du monde tout ce qu'ils ont d'inadmissible et de paradoxal. La régularité du mouvement de notre satellite et des lois qui régissent tout le système solaire, s'oppose irrémissiblement à de telles suppositions; et, pour employer le mot d'un savant illustre, *il serait aussi absurde* d'admettre que des chocs ont altéré ce système, que de les supposer à l'égard d'un chronomètre parfaitement réglé. C'est bien là le cas de dire, avec M. d'Omalius d'Halloy, que « les hypo» thèses sont à la géologie ce que les mauvais romans sont à la litéra» ture. »

(1) *Ann. des sciences naturelles*, t. XVIII.

Pour se faire une idée de ce qu'était la science avant que les nouvelles théories fussent venues y répandre la lumière, il suffit de lire les paroles qu'un wernérien modéré imprimait dans le seul traité français classique qui existât en 1820, et que M. Desnoyers cite dans son rapport sur les travaux de la Société pour 1831. On y lit : « Que la » présence des corps marins sur les hautes montagnes est bien plus fa» cilement explicable par le soulèvement des eaux mobiles de l'Océan, » que par le redressement des masses minérales inertes et immobiles. »

partielle de ces mêmes matières a commencé à la surface. Cette première pellicule de cristallisation a dû se former à peu près partout dans le même temps. L'influence de la chaleur solaire ne pouvant être bien considérable à une époque où la température intrinsèque du globe était aussi élevée, les mouvements atmosphériques ont dû être également faibles ; de là l'absence de grands courants équatoriaux , qui , sans cela , auraient pu retarder la fixation des molécules fluides entre les tropiques. Pendant un certain laps de temps , le refroidissement de la pellicule terrestre ayant lieu rapidement , et ce temps a dû être assez long , sa contraction a dû être plus grande que celle de l'intérieur (1). De là de nombreux fendillements et des crevasses dans cette pellicule qui , brisée , tourmentée de mille manières par les pressions variables et les vents d'une atmosphère chargée des vapeurs les plus pesantes (2) , par les marées de cette mer ignée universelle , a dû donner passage , à tout moment , à des épanchements de la matière intérieure, et a dû être exposée souvent à être redissoute au moins en partie. Mais il est arrivé un point où la contraction de l'écorce solide a dû équivaloir à peu près à la diminution de volume des couches liquides qui se figeaient (3). L'action des marées générales ne dut plus être aussi sensible sur la croûte solidifiée ; l'atmosphère s'épura de ses vapeurs les plus lourdes ; la grande masse des eaux a pu se condenser à la surface. Cependant , l'influence du noyau incandescent était encore assez grande pour réagir sur la partie inférieure des dépôts qui se faisaient au fond des mers ; il se pro-

(1) M. Élie de Beaumont , en s'appuyant sur les observations thermométriques souterraines d'Arago et sur les formules trouvées par Poisson et par Fourier, est arrivé par des calculs aussi simples qu'ingénieux au résultat approximatif, il est vrai, mais pourtant remarquable, qu'à dater de la solidification de la première pellicule terrestre, le refroidissement annuel de la surface du globe a dû être, pendant environ trente-huit mille ans, plus grand que celui de sa masse totale; et qu'à dater de cette époque le refroidissement moyen annuel de la terre a dû surpasser celui de la surface et qu'il le surpasse de plus en plus. (*Comptes-rendus des séances de l'Acad. des sc.*, t. XIX , séance du 16 déc. 1844). — Voyez encore les expériences de M. G. Bischof, à Bonn (*Neues Jahrbuch fur Min.*, etc., 1841.)

(2) Voyez l'élégante *Exposition de l'ensemble des phénomènes qui se sont manifestés à la surface du globe*, par M. le vicomte d'Archiac. Paris, 1840, p. 12.

(3) Comparez ce qu'en dit M. Angelot (*Bull. géol.*, t. XIV, p. 51; 1842).

duisait des couches cristallines par *métamorphisme normal* (1). Les inégalités du sol à l'extérieur n'étaient pas très considérables; de nombreuses terres basses seulement ont dû fournir matière

(1) Voyez, pour ce qui regarde ce genre de métamorphisme, les leçons à l'École des mines de M. Élie de Beaumont (traduction allemande de M. Vogt; Brunswick, 1846), qui en 1833 en exposait la théorie au Collége de France, et les notes intéressantes de M. Virlet, consignées dans le *Bulletin* de notre Société pour 1837 (séance du 19 juin), ainsi que dans celui de cette année (séance du 15 février). J'admets, avec M. de Beaumont et M. Virlet, le métamorphisme normal des formations dites primitives de la Suède, tel que M. Murchison paraît l'avoir compris, et que notre confrère vient de l'adopter dans sa dernière note. Seulement, je dois le dire, je ne saurais le suivre dans l'application du même phénomène à la plupart des granites, et notamment à ceux de la Bretagne. Au surplus, je dois noter qu'il y a loin de ce genre de métamorphisme qui a dû modifier les dépôts les plus anciens, à ces idées singulières qui ont porté M. Keferstein et d'autres savants même très distingués, mais trop préoccupés des conditions chimiques de la terre, à admettre la transformation *morphologique* des grès rouges en porphyres, ou des schistes en granites, par la seule influence des réactions moléculaires inhérentes à ces roches.

La question de savoir quelle est la nature de la stratification des roches cristallines se rattache à celle-ci. Depuis que les principes de Werner, qui les considérait comme un dépôt aqueux, ont été définitivement mis de côté, on a beaucoup discuté sur ces roches. M. Lyell, qui a là-dessus presque exclusivement suivi les idées de Hutton, s'arrête à l'action métamorphique qui aurait transformé et continuerait de transformer peu à peu en gneiss et en granites les débris de matériaux sédimentaires préexistants, stratifiés au fond des mers et enfouis à de grandes profondeurs. D'autres géologues, et parmi ceux-ci des savants du Nord très distingués, n'ont pas regardé comme étant une véritable stratification les divisions des schistes appelés primitifs, tels que ceux de la Scandinavie, et les alternances qu'ils présentent dans leur nature minéralogique; ils ont même adopté l'opinion que ces apparences d'une stratification souvent très marquée et fortement inclinée ou presque verticale, n'étaient dues, ainsi que la formation des granites qui en maints endroits sont enclavés dans les mêmes schistes, qu'à des actions moléculaires et chimiques. D'autres encore ont rejeté en totalité ou en partie l'idée d'un métamorphisme normal, et se sont attachés à expliquer la stratification de ces dépôts « azoïques », soit au moyen d'un *laminage* lors de l'éruption des granites, soit par un procédé de *dépôt chimique*, ou par l'effet des *attractions spécifiques* combiné avec celui de la *densité* des substances composantes qui se précipitaient au milieu d'un bain igné.

Vouloir étendre à l'infini la répétition des transformations sous le prétexte de s'attacher aux causes actuelles, ce serait une manière bien

aux sédiments qui se formèrent dans ce temps. L'étendue des dépôts primaires, telle qu'elle nous a été démontrée par les grands voyages d'un de nos plus savants confrères (1), est une preuve que les mers occupaient de vastes espaces. C'est alors qu'a commencé le régime actuel pour le globe que nous habitons; la tranquillité venant à régner sur la terre, la vie organique a pu s'y développer. A dater de ce point, la contraction de l'écorce solidifiée, dont les dernières limites du refroidissement (2) n'avaient plus lieu qu'avec une extrême lenteur, ne suffit plus à balancer la diminution progressive du volume du noyau liquide (3), dont la masse était d'ailleurs continuellement réduite par l'enlè-

---

étroite d'envisager l'action des forces physiques qui, variables dans leurs effets, ne se modifient aucunement dans leur essence, et restent, en ce sens, toujours actuelles. Sans méconnaître donc qu'il doit y avoir eu du granite véritablement primitif, résultat de la coagulation de la première pellicule, et qu'il peut y avoir eu une sorte de schistes cristallins également primitifs, résultant de l'action des marées et des courants du bain igné au moment de la solidification, nous sommes convaincus que la plupart des roches dites primitives, autres que les granites ou leurs analogues, présentent les traces d'une véritable stratification, et qu'elles sont, ainsi que certains granites, etc., qui y sont renfermés, d'origine métamorphique normale. Car il est difficile de concevoir que les dépôts réellement primitifs aient pu se conserver, sans se fondre, dans les profondeurs où ils étaient recouverts par les couches plus récentes, lorsque nous voyons la transformation en micaschistes et en gneiss de roches qui ne sont pas plus anciennes que les terrains jurassiques. Ce cas peut exister, nous ne le nions pas, mais la manière d'être de la plupart des dépôts primitifs, de ceux de la Scandinavie, par exemple, nous porte à douter qu'il ait réellement lieu.

Quant aux gneiss qui renferment des fragments de roches étrangères, et aux gneiss formant des filons, ils ne peuvent entrer dans les catégories des roches primitives ou métamorphiques; leur origine plutonienne, et leur éruption postérieure au dépôt des terrains qu'ils traversent ne saurait être sujette à contestations; leur structure peut très bien être due à ce qu'on a appelé le *laminage* des roches ignées.

(1) Édouard de Verneuil, *Voyages dans la Russie d'Europe et dans l'Amérique du Nord.*

(2) D'après Fourier, l'effet thermométrique actuel de la chaleur centrale à la surface n'est que de $\frac{1}{30}$ de degré; d'après Poisson, il est encore moindre. La surface des laves se refroidit extrêmement vite, et elle reste alors dans un état de température à peu près stationnaire; tandis que, à quelques pieds seulement de profondeur, la roche continue d'être fondue, et elle ne se refroidit qu'avec une lenteur extrême.

(3) La dilatation linéaire des solides diffère peu de $\frac{1}{1000}$, tandis que celle de l'eau est de $\frac{16}{1000}$.



vement des couches extérieures qui se solidifiaient. Le noyau liquide devenait trop petit pour remplir son écorce, tant que sa forme serait restée celle du sphéroïde primitif. Il a donc dû y avoir pour le globe une tendance constante à s'éloigner de cette forme. L'accélération de rotation produite par la diminution du diamètre de la terre ne pouvait à elle seule donner lieu à une diminution de capacité (1); sa croûte étant loin de présenter une rigidité absolue, ne pouvait permettre qu'il se formât des vides; elle n'aurait pu se soutenir un seul instant sans surnager sur le bain qui la supportait. Or, à mesure que le niveau de celui-ci s'abaissait, il a dû en résulter entre les différentes pièces de la voûte solide une pression latérale énorme tendant à en faire sortir les parties les plus faibles, de la même manière que nous voyons des voussoirs d'anciens ponts en plein cintre, poussés en dehors par la pression des côtés surchargés. Mais un bombement qui se fait de cette manière peu à peu sur un seul point de la surface, ne saurait produire une diminution de capacité de l'écorce. Pour qu'au contraire cette capacité n'en soit pas augmentée, il faut que le bossèlement se fasse, soit tout autour et parallèlement à un grand cercle de la sphère, soit au moins sur toute la longueur d'une moitié de la surface de notre globe; le bossèlement sera alors compris entre deux grands cercles qui, dans un cas donné, pourront être deux demi-méridiens. Que ce soit l'un ou l'autre de ces phénomènes qui s'accomplit, il n'en suivra pas moins l'affaissement graduel et général des deux grands hémisphères latéraux, dans le premier cas; de tout le reste de l'enveloppe, à l'exception de l'espèce de *côte de melon* ou de *fuseau* en bas-relief qui se soulève, dans le second. Les diamètres, dont les extrémités viennent aboutir à une grande zone qui parcourt tout autour la surface de la terre, auront été allongés dans l'un des cas aux dépens de tous les autres; ce seront, dans l'autre cas, les rayons qui aboutissent au fuseau de soulèvement qui auront subi un allongement analogue. Le *soulèvement zonaire* parcourant toute la circonférence du

(1) M. Élie de Beaumont qui, on peut le dire, n'a oublié aucune des questions qui peuvent intéresser la géogénie, a fait des calculs qui, d'après le principe des aires, prouvent que si l'on suppose la croûte suffisamment solide pour se soutenir, le sphéroïde qui se formera à l'intérieur par le refroidissement, dont le mouvement sera plus accéléré, et qui sera par conséquent plus aplati, ne peut être en aucun point tangent à la surface inférieure de la croûte primitive. Il s'en approchera davantage à l'équateur qu'aux pôles, mais il ne le touchera point.

sphéroïde, sa seule action suffira à conserver l'équilibre entre la croûte et le noyau. Les deux calottes s'affaisseront tranquillement. Mais pour que ce genre de soulèvement se fasse, il faut une énorme puissance de pression. Le *soulèvement par côte de melon*, tel que l'entend M. Elie de Beaumont, est plus concentré, il exige une dépense bien moins considérable de force vive, et se trouve être plus en rapport avec les faits que l'on observe sur la surface de notre globe ; mais dans ce cas le reste de la croûte ne peut s'affaisser qu'en se déformant, quoique très légèrement (1). Il ne pourrait s'effectuer si la croûte n'était pas aussi incohérente et peu rigide qu'elle l'est en effet (2).

---

(1) Il est important de remarquer que ces changements de forme sont si petits qu'ils ne sauraient avoir aucune influence appréciable sur les révolutions régulières et sensiblement constantes du globe, et qu'ils ne pourraient produire que des oscillations tout à fait minimes de son axe dans l'espace, oscillations incapables d'aucune action sur la répartition des climats.

(2) Notre savant secrétaire, M. Le Blanc, a cité un fait qui prouve, jusqu'à l'évidence, la nécessité de cette marche des choses pendant le refroidissement d'un corps fondu : « Quand on coule de grosses pièces » en fonte, comme des canons, dit-il, on établit les moules verticale- » ment ; on coule une surcharge considérable de matière fondue, et » malgré cela on évite rarement les vides ou chambres qui se forment » dans l'intérieur de la pièce. On a souvent attribué ces vides à des » bulles d'air ; nous pensons que la cause qui les reproduit d'une ma- » nière si constante est le refroidissement subit de la croûte, accom- » pagné d'un refroidissement plus lent de l'intérieur... Quand on coupe » une balle de fusil, on trouve toujours dans son intérieur un petit » vide qui n'est pas souvent à son centre de figure. Ce fait, qui nuit à » la justesse du tir, a été vérifié à l'arsenal de Metz sur 1,800 balles, » sans qu'on y ait trouvé une seule exception. » (*Bull. de la Soc. géol. de France*, t. XII, p. 140.)

Ce vide intérieur, dernier résultat de la solidification d'une masse liquide, et qui, dans les balles de plomb, est excentrique, lenticulaire, et opposé à la direction de la gravité au moment de leur solidification, remplacera probablement tôt ou tard la partie centrale de notre globe, et il sera sphérique. D'ici là, il arrivera même un phénomène assez curieux, et que M. Angelot a analysé avec une grande puissance de logique (*Bull.*, 1re série, t. XIII, p. 248). Tant que la croûte de notre globe conservera encore une certaine souplesse, et les changements de niveau actuels nous montrent que nous sommes encore dans ce cas, elle ne discontinuera de s'adapter à son noyau ; mais, « quand elle aura atteint une épaisseur suffisante pour ne plus s'écrou- » ler, dit M. Angelot, il devra se former une chambre concentrique » complète dans laquelle il se fera une nouvelle sphère solide. Un phé-

Cette action de bossèlement a dû être lente, extrêmement lente même à l'origine; mais la rapidité de sa progression a dû s'accroître à mesure que le bombement devenant plus considérable, et cette partie de la croûte se trouvant de plus en plus éloignée du centre de la terre et poussée en dehors du niveau moyen de sa surface, la résistance de la zone ou de la côte bombée par rapport aux deux calottes latérales venait à diminuer. Il a même dû arriver un instant où, la progression de rapidité dans le mouvement ainsi accéléré étant parvenue à sa dernière limite, la partie bosselée de l'écorce qui n'était plus en état de résister, a dû se briser en plusieurs points. La masse fluide intérieure pressée par le poids des deux moitiés de la voûte qui s'affaissait, soumise aux lois d'égalité de pression des liquides, a dû exercer à son tour des efforts puissants sur ces points de moindre résistance, et contribuer, par son émersion, au bouleversement des parties avoisinantes, jusqu'à ce que les colonnes ignées balançant par leur hauteur la pression générale, n'eussent pu rétablir l'équilibre momentanément dérangé. C'est ainsi que, lorsque la pression intérieure agissait puissamment sur les deux côtés d'une longue fente, il se formait de grandes chaînes de montagnes; et que, lorsqu'au contraire les effets de cette pression limités par une disposition particulière des parties de l'écorce solide, ne portaient que sur des points isolés, il se faisait des cirques; ou qu'après un écroulement plus ou moins partiel de la partie relevée, il en résultait ces cratères de soulèvement sur lesquels M. de Buch a le premier appelé l'attention des géologues (1).

» nomène semblable pourra se reproduire dans cette nouvelle sphère, » une ou plusieurs fois, jusqu'à la solidification totale, qui pourra » peut-être produire, au sein de cette dernière sphère solide, une petite chambre centrale. » Que feront, pendant ce temps, les gaz qui se dégagent constamment pendant le refroidissement?

(1) C'est là ce qu'on a appelé la théorie des *soulèvements*. M. de Buch avait donné une forme pratique aux indications de plosieurs anciens savants lorsqu'il a attribué aux mélaphyres le soulèvement des terrains alpins; il était réservé à ses successeurs de développer cette idée, d'en tirer une théorie et de la pousser aux dernières conséquences.

On parlait eocore, il y a quelque temps, d'une théorie des *affaissements*. C'est la théorie de De Luc. De Luc faisait enfoncer toutes les plaines pour ne maintenir au même niveau que les arêtes des montagnes; des cavités intérieures auraient absorbé les eaux surabondantes de l'Océan. L'espace occupé par les montagnes n'étant guère, d'après Humboldt, qu'environ le centième de la surface des continents, et les arêtes étant encore une parcelle infiniment petite de l'étendue des

172

De là deux états différents dans la vie de notre globe : 1° des *pé-*

---

pays montueux, on voit quels bouleversements supposait cette hypothèse. On a voulu, plus tard, reproduire cette théorie, en admettant toutefois la contraction du noyau de la terre. J'ai lu attentivement ce qu'il en est dit dans le *Bulletin* de la Société, t. XI, p. 183, et ce n'a pas été sans étonnement, je dois le dire, que j'y ai vu, confondus dans un anathème commun, le principe des soulèvements des chaînes de montagnes, la théorie des cratères de soulèvement ou d'enfoncement (ce qui revient au même) produits par la force des gaz, et troisièmement les idées sur lesquelles Hopkins a fondé ses calculs; trois choses qui n'ont rien de commun. Aujourd'hui, ces malentendus se sont éclaircis, et je suis heureux de constater qu'entre le savant défenseur des affaissements et les géologues qui ont adopté la théorie des soulèvements, il n'y a plus aucune différence d'opinion. Dès qu'on reconnaît que la grande partie de l'écorce qui s'affaisse ne peut exécuter ce déplacement qu'à la condition qu'il y ait un mouvement de bascule, et qu'une autre partie se soulève, il n'y a plus de diversité entre les deux théories. Seulement, puisque les soulèvements, en raison de l'espace restreint qu'ils occupent, sont beaucoup plus appréciables que l'affaissement, et que d'ailleurs l'affaissement ne peut avoir lieu que par suite du soulèvement, on permettra que je continue d'appeler les mouvements généraux de l'écorce, des *soulèvements*.

Quant aux cratères de soulèvement, oh! là on est encore bien loin de s'entendre, du moins en apparence. On a assez mis en doute l'existence de ces cratères. Les uns ont attaqué l'ensemble de la théorie du célèbre géologue prussien; les autres, tout en admettant cette théorie dans son principe, ont contesté les faits particuliers qui en avaient été cités comme exemples. D'autres encore ont prétendu qu'il y avait bien des soulèvements cratériformes dans les terrains schisteux, mais qu'il ne s'en était point produit dans le sol volcanique. Quelle que puisse être ma conviction, après la lecture du grand et beau Mémoire de MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, sur le Cantal (*Ann. des mines*, 1833), et de leur réponse aux objections qu'on leur avait faites (réponse de M. Dufrénoy dans le procès-verbal de la séance de la Société géologique de France, 10 juin 1833; Mémoire de M. de Beaumont, lu à la séance du 17 février 1834), ainsi que de leurs Mémoires sur le Vésuve et sur l'Etna; n'ayant pas étudié les localités mises en discussion, je dois me tenir dans la plus complète réserve sur les cas spéciaux. Je ne pourrais pourtant passer sous silence de combien de poids est pour moi l'opinion de M. de Waltershausen, qui, après avoir accompli son ouvrage monumental sur l'Etna, en avoir levé une carte topographique, comme il n'en existe pas une seconde, et avoir consacré exclusivement à l'étude de cette montagne huit années de sa vie, et qui, après avoir couronné toutes ces recherches par la visite des autres volcans du Midi et par un grand voyage en Islande, vient d'écrire à l'Académie, en lui envoyant son ouvrage magnifique, que: « Ses vues sur la formation » et la structure des volcans, et spécialement pour ce qui regarde leur

riodes de tranquillité correspondantes à ce bossèlement, à ce soulè-

---

» soulèvement, coïncident dans tous les points essentiels avec celles de » M. Élie de Beaumont (*Mém. sur l'Etna*); résultat d'autant plus décisif, » qu'il n'y est point arrivé, dit-il, par suite de discussions abstraites, » mais qu'il l'a déduit directement d'observations consciencieuses pour- » suivies sur la nature même pendant plusieurs années. » Mais qu'il me soit permis d'exprimer combien il m'est difficile de concevoir que cette théorie ait pu devenir l'objet de tant d'attaques. D'abord je ne saurais comprendre des éruptions vocaniques qui se feraient jour tout à coup du milieu d'une grande plaine, sans déranger le moins du monde les couches environnantes. Ensuite, ou il faut nier toute espèce de soulèvement et en venir aux idées de M. de Montlosier, qui, en 1832, affirmait encore « que les Alpes, et en général les groupes de montagnes, » ne sont que des continents élevés et à pente douce, déchirés par un » précipité tombé du haut de l'atmosphère dans leur milieu; » ou bien il faut admettre que, s'il y a eu des soulèvements longitudinaux, il peut y avoir eu également des soulèvements par cirques. Or, s'il a pu y avoir des soulèvements par cirques dans les terrains cristallins et schisteux, pourquoi ne doit-il pas y en avoir eu dans les terrains volcaniques? Je dirai plus; d'après les conditions qui sont nécessaires pour qu'il se fasse un soulèvement circulaire, et qui consistent dans l'égalité de résistance de la surface, au-dessus du point comprimé, il est évident que ce genre de soulèvement a dû surtout avoir lieu là où des couches d'épanchement uniformes et multipliées présentaient à un haut degré cette condition voulue; car il ne faudrait pas s'imaginer, comme on l'a cru parfois, que ce fût toujours l'épaisseur totale de l'écorce de la terre qui a été déplacée lors de la formation d'un soulèvement circulaire; ce cas n'est arrivé que pour des cirques où des masses ignées considérables ont été poussées de l'intérieur à un état plus ou moins solide. Dans toutes les autres circonstances, et pour les terrains volcaniques en particulier, il est très probable, ainsi que M. Élie de Beaumont l'a fait remarquer, que des matières liquides aient pénétré par des fentes jusqu'au-dessous des couches les plus superficielles, qui seules ont subi le redressement. Supposons, par exemple, qu'un effort se fasse par la matière intérieure au-dessous d'un point où se trouvent des basaltes en couches étendues et horizontales; la matière fondue remontera jusqu'au-dessous de ces couches unies, par les fentes résultant du retrait du dicke qui, s'étant refroidi plus tard que le chapeau de la nappe basaltique, n'avaient pu être remplies après coup par en haut; cette matière, arrivée devant l'obstacle, s'y amassera comme un champignon, commencera à le soulever, et, après s'être introduite entre les couches supérieures et les inférieures, laissera retomber les premières au milieu, par cela même qu'elle aura trouvé une autre issue.

Quant à la question de savoir si c'est à la pression générale de l'écorce, agent ordinaire des soulèvements, qu'on doit attribuer la formation de ces cirques cratériformes, ou bien à toute autre puissance agissant sur un point de sa partie inférieure, elle ne me paraît pas fa-

vement lent d'une zone circulaire ou d'une côte de melon, et que plus

cile à résoudre pour les cas particuliers. En général, la disposition des volcans sur les grandes lignes de soulèvement porterait à croire qu'ils se sont formés au commencement de l'époque à laquelle ils appartiennent, et qu'ils ont profité des soupiraux que les ruptures qui l'ont immédiatement précédée avaient établis à travers la croûte terrestre. A cet égard, M. Élie de Beaumont a fait remarquer non seulement que la plupart des volcans sont disposés suivant les grandes lignes de soulèvement, et surtout à la limite de deux grandes plaines de hauteurs différentes ; mais que le pic de Ténériffe et l'Etna se trouvent précisément dans la prolongation des deux extrémités de la chaîne de l'Atlas, et que le second occupe le point de croisement de la direction de cette chaîne avec celle des soulèvements du Ténare, dans lesquels rentrerait le Vésuve ; tandis que, d'autre part, quelques observateurs distingués sont portés à croire que les cratères de l'Auvergne se trouvent sur de semblables croisements. Rien cependant ne s'oppose à ce que des gaz accumulés sous un point donné de l'écorce, où des fentes les conduisaient jusqu'auprès de la surface du sol, aient pu parfois vaincre sa résistance et produire, sur une échelle plus grande, ce que M. Pilla a vu s'accomplir en petit, sous ses propres yeux, au milieu du cratère du Vésuve, en 1834 (*Mém. de la Soc. géol. de Fr.*, t. I, 2ᵉ série, p. 176).

Les phénomènes de toute espèce que l'on observe auprès des volcans et en mille autres endroits différents, les recherches de tant de savants sur les causes des propriétés des eaux minérales, celles surtout de M. Scheerer (*Bull. géol.*, février 1847), qui prouvent que l'eau a été de tous temps combinée à l'état basique avec les roches incandescentes, sont des faits bien propres à faire attribuer à l'action des gaz et des vapeurs l'éruption des laves actuelles. Or, si des gaz, trouvant toujours une issue toute prête à mesure qu'ils arrivent, sont capables d'élever des colonnes de laves de plusieurs milliers de mètres au-dessus du niveau moyen de la surface, quelle ne doit pas être leur puissance lorsque, faute d'un soupirail, ils sont forcés de s'accumuler et de se comprimer ! Les malheurs sans nombre qu'on a déjà eus à déplorer et qui sont dus à des explosions par la force de la vapeur à une haute température, ne nous avertissent-ils pas assez de la puissance de cette force si redoutable ? Les faits historiques, tels que le célèbre soulèvement du Jorullo rapporté par Humboldt, etc., admettent-ils aucune réplique sérieuse ? car il ne suffit pas de faire semblant d'ignorer la chose, et de dire que ce sont des laves accumulées, comme l'a fait M. Lyell (*Elém. de géol.*, trad. française ; Paris, 1839).

M. Élie de Beaumont a comparé l'action volcanique à celle du vin de Champagne, qui se répand en dehors d'un goulot par la force expansive de l'acide carbonique qui le fait mousser ; cette propriété des gaz a été mise à profit dans ces derniers temps dans une saline de l'Allemagne, où l'on exploite le sel gemme par dissolution ; on y est parvenu à effectuer une grande économie de force motrice en remplaçant les pompes à eau par des pompes soufflantes ; l'air introduit jusqu'au fond des

tard M. de Waltershausen a appelé *soulèvement séculaire* (1). Dans ces périodes, espaces de temps analogues à celui où nous vivons, des causes semblables produisaient des effets pareils à ceux que nous pouvons observer de nos jours. Une plus grande puissance des agents chimiques, et les influences météorologiques modifiées, surtout dans les premiers temps, par la plus grande uniformité d'une température plus élevée, par la composition des eaux et de l'atmosphère de l'époque, par la disposition des mers et des continents, par l'existence probable d'une plus grande quantité de sources minérales et thermales, ont dû seules y apporter quelque

sondages au moyen de tuyaux, suffit, dans son ascension par bulles, à diminuer tellement le poids de la colonne liquide, qu'elle remonte bien au-dessus de son niveau naturel, et peut ainsi arriver aux canaux d'écoulement.

Les produits laviques actuels laissent échapper une énorme quantité de gaz et de vapeurs. En Auvergne, les basaltes modernes présentent plus de traces de gaz que les basaltes anciens. Les trachytes ont des scories; les porphyres, très rarement; les granites, jamais. Ainsi beaucoup de gaz accompagnent les éruptions modernes, très peu ou point les anciennes. Ce n'est pas une simple différence de nature dans les produits de diverses couches concentriques du globe que nous avons à considérer; ce sont, d'un côté, des substances avec des gaz; de l'autre, des substances sans gaz. Cette idée, qu'on trouve consignée dans le Mémoire sur le Cantal de MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy (*Ann. des mines*, 3ᵉ série, t. III, p. 568, 1833) explique jusqu'à un certain point pourquoi les volcans de nos jours forment une communication permanente entre l'intérieur de la terre et sa surface, tandis que les éruptions anciennes n'étaient que temporaires. Lors de l'abaissement de température, les gaz des couches extérieures n'étant pas soumis à de grandes pressions, se sont dégagés avant la solidification de la pellicule la plus superficielle. Dans les couches plus profondes, ils ont été retenus par la pression, et n'ont pu commencer à se dégager que lorsque ces couches étaient arrivées à une température beaucoup plus basse. Tant que la solidification s'est limitée aux couches supérieures, il n'y a pas eu de dégagement; les roches qui en dérivaient ne pouvaient renfermer de vapeurs. Plus tard, la solidification a atteint les couches à gaz, ils se sont alors dégagés. C'est le même phénomène que celui de la végétation de l'argent observé par Gay-Lussac : tant que ce n'est que la croûte qui se solidifie, il n'y a pas d'éruption; mais lorsque la solidification atteint l'intérieur de la masse, alors on voit le phénomène. Si la terre n'avait pas eu d'autres causes de dérangement, les éruptions de l'intérieur n'auraient commencé qu'avec les volcans.

(1) *Uiber die submarinen vulkanischen Ausbrucke des Val di Noto, Goettinger Studien*; 1845.

différence, et réagir surtout puissamment sur la vie des végétaux et des animaux, en leur imprimant en général un cachet de contemporanéité respective (1); 2° des *époques d'agitation*, moments de soulèvement brusque et de *rupture*, marqués par l'arrivée des matières intérieures à la surface. Des émanations nombreuses de vapeurs très variées ont signalé ces époques (2). Il en est résulté la destruction et l'altération partielle des anciennes roches, et la production de nouvelles, par *métamorphisme anormal* (3) sur plu-

---

(1) Lorsqu'une certaine forme d'organisation pour s'accommoder aux nouvelles conditions ambiantes a subi toutes les modifications dont elle porte les germes et dont elle est capable, si le milieu où elle vit continue de s'altérer, elle périt, elle cesse d'exister; une nouvelle forme vient la remplacer. « Il n'y a de créations possibles, dit Geof- » froy, qu'en raison de l'essence et selon la nature des éléments am- » biants qui s'organisent en eux. A chaque cycle géologique, ces élé- » ments se sont plus ou moins modifiés, et alors ce sont autant de » formes qui varient dans une même raison. » (*Principes de philosophie zoologique ;* Paris, 1830.)

Combien de fois ce changement aura-t-il encore lieu avant que l'existence de toute organisation soit devenue impossible sur la terre?

(2) Voyez le Mémoire de M. Angelot sur les causes des émanations gazeuses provenant de l'intérieur du globe (*Bull. de la Soc. géol. de France*, t. XIII, p. 178; 1842), où l'auteur, s'appuyant sur des arguments irrécusables, établit l'absorption primitive des gaz et des vapeurs par les matières liquides incandescentes, et leur dégagement progressif de toutes les parties de la masse, en raison de l'abaissement de température, ainsi qu'il arrive lors du refroidissement des laves. La cause de la volcanicité actuelle n'est encore, pour nous, que la continuation de ce même phénomène pendant notre période de tranquillité.

M. Angelot émet également sur la formation des filons métallifères une hypothèse qui, comme tout ce qui sort de la plume de ce savant éclairé, est empreinte d'un véritable sentiment scientifique; en se fondant sur la densité supérieure des parties centrales de la terre, densité qui, en supposant le globe partagé en trois couches concentriques donnerait, pour la plus inférieure, une pesanteur spécifique de 18,89, il admet qu'au moyen de l'espèce d'ébullition qui doit résulter des gaz qui s'échappent jusque des parties les plus profondes, de faibles traces des métaux les plus pesants peuvent être entraînées à l'état liquide des profondeurs où les relègue leur densité; la température de ces métaux serait tellement élevée, qu'arrivés subitement à des couches où ils sont soumis à une pression moindre, ils se subliment et vont s'y déposer.

Voyez encore, pour la théorie des filons métallifères, la géologie de d'Aubuisson et les mémoires si pratiques et si importants de M. Burat sur les filons de la Toscane, de l'Allemagne et de l'Algérie.

(3) L'idée et les premiers développements de la théorie du méta-

sieurs points de la terre ; un changement plus ou moins considérable des propriétés des eaux et de l'atmosphère; des modifications correspondantes dans l'organisme des animaux et des plantes. Une partie de la surface terrestre avait été dévastée; les eaux de la mer, déplacées rapidement pendant le mouvement accéléré qui avait précédé la rupture, ou lancées violemment pendant cette rupture elle-même, s'étaient changées en courants et en vagues énormes qui l'ont partiellement rasée et ravinée (1), et qui ont amené au loin ces matières dont l'immensité des dépôts a bien souvent exercé la raison ou l'imagination des géologues. La nature s'était rajeunie par le contact de nouveaux éléments; après la fin du cataclisme, un jour plus beau recommença à briller sur la terre; des forces nouvelles travaillèrent à la marche de l'univers.

La rupture achève d'établir l'équilibre de capacité; elle n'est que la dernière expression du soulèvement séculaire. Le refroidis-

---

morphisme anormal sont dus à l'Italien Arduino et à l'école écossaise. Les ouvrages de Hutton et Playfair, de Mac-Culloc, etc., en sont pleins. M. de Buch, M. Boué, MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, MM. de Collegno, P. Savi, Studer, G. Rose, etc., les ont appuyés plus tard par un nombre infini d'observations. M. Forchhammer a prouvé, par des analyses, l'identité chimique des schistes argileux et des gneiss de certaines parties de la Scandinavie (*Report on the influence of fucoidal Plants upon the Formations of the Earth, on Metamorphism in general*, etc., by G. Forchhammer.— *Rep. of the British association for the advancement of science for* 1844).

Cette espèce de métamorphisme a agi de deux manières : soit par un simple changement de température au moyen du contact des masses ignées, comme sur les calcaires transformés en marbres saccharoïdes, soit par l'action de cémentation des substances volatiles qui, comme nous venons de le voir, ont dû toujours accompagner les dislocations terrestres. C'est à ces dernières influences qu'est due par exemple l'origine des dépôts anormaux stratifiés, tels que les gypses, les substances magnésiennes, la plupart des sels gemmes, etc.

(1) C'est là une des causes de formation des *diluviums* proprement dits, et la seule parmi ces causes qui ne se manifeste que dans les moments où les forces physiques du globe sont sur le point d'acquérir leur maximum d'effervescence. La délimitation exacte de ce qui dans le dépôt des terrains diluviens des différentes périodes, est dû à cette cause, ou bien aux agents ordinaires des forces physiques, l'action de l'atmosphère et des éléments qu'elle renferme, et l'action des eaux de la mer et des eaux continentales, liquides ou solides, pendant les périodes de tranquillité, constitue une des questions les plus importantes de la science. Malheureusement la substitution d'*agents fantastiques* aux *causes réelles et actuelles* a jeté dans ces derniers temps cette partie de la géologie dans une si déplorable confusion, qu'elle est à peu près encore à refaire.

sement étant progressif et continuel, ce genre de soulèvement recommence de suite après le rétablissement de cet équilibre (1). Mais l'action qui s'est exercée a dû avoir pour effet de déformer légèrement le sphéroïde ; l'équilibre de capacité a été satisfait aux dépens de celui de la forme ; la direction du soulèvement qui va suivre sera déterminée par les conditions les plus propres à ramener le globe à ses dimensions normales. Que le soulèvement ait été zonaire ou circonscrit entre deux demi-grands cercles, les diamètres des grands cercles qui lui sont perpendiculaires auront été raccourcis. Supposons un moment que la direction du soulèvement ait été parallèle à un méridien, ou bien qu'il se soit effectué dans l'espace compris entre deux demi-méridiens d'un même hémisphère ; il est évident que la circonférence de la terre aura diminué parallèlement à l'équateur, et que la croûte se trouvera être aux pôles à un niveau plus élevé que celui qui lui est propre par suite des lois de l'aplatissement. Il faudra donc que le prochain soulèvement se fasse de manière à allonger les diamètres de l'équateur et des petits cercles qui lui sont parallèles, par rapport à ceux des méridiens. Il en résultera un deuxième soulèvement se croisant à angle droit avec le premier.

Or, admettons que les bossèlements se sont toujours faits sous la forme d'une côte de melon, et que le premier se soit fait par le relèvement d'un demi-méridien. Pour satisfaire aux conditions que nous venons d'indiquer, le second devra venir se placer en croix avec celui qui a eu lieu, et à peu de distance de l'équateur. Il coupera perpendiculairement les cercles méridiens ; mais sa position plus précise dans l'immense zone limitée par les tropiques, sera déterminée par les points de moindre résistance ; la côte de soulèvement pourra se trouver dans la demi-zone torride septentrionale, ou dans sa pareille du Sud ; ce deuxième bombement pourra commencer à se développer sous le méridien de Paris, sous

(1) A la rigueur, cette succession immédiate d'un nouveau soulèvement lent ne serait pas absolument nécessaire. Des tiraillements, des commencements de relèvements suivant plusieurs des lignes antérieures, ont pu parfaitement suffire à maintenir l'équilibre de capacité pendant les périodes tranquilles. Dans ce cas, le soulèvement brusque du fuseau ou de la zone de bombement ne devrait plus être regardé que comme l'*effet de la concentration instantanée de l'action*, par suite de la résistance de l'écorce à de plus grands tiraillements. C'est là une idée sur laquelle M. Élie de Beaumont a souvent insisté, et qui, il faut l'avouer, a de grandes chances de vérité, et présente même, comme système explicatif des faits, des avantages qu'on n'obtient point en admettant des soulèvements successifs, généraux et isolés.

celui de l'île de Fer, ou bien sous tout autre quelconque, de manière à venir se placer sur le premier ou du côté opposé ; ses effets embrasseront la longueur d'un demi-grand cercle ou à peu près. Cette action nouvelle aura eu pour effet de relever le niveau de la croûte à l'équateur. Les points de la surface qui se trouveront les plus déprimés, les plus rapprochés du centre après la deuxième rupture, et partant, ceux qu'il faudra relever pour rétablir la forme normale, seront les vastes espaces où aucun soulèvement n'a encore eu lieu, et qui dans notre supposition sont compris entre la direction du méridien soulevé et celle de l'équateur. La marche du troisième soulèvement devra donc être parallèle, ou à peu près, à l'un ou à l'autre de deux grands cercles qui, en partant simultanément de l'équateur, se dirigeraient vers le N.-E. ou vers le N.-O. Le fuseau en bas-relief pourra être situé dans la partie septentrionale ou dans la partie méridionale du globe ; dans l'hémisphère où les autres soulèvements ont déjà eu lieu, ou bien dans l'hémisphère opposé. Son emplacement plus précis sera encore déterminé par les points de moindre résistance. Plus tard, d'autres bossèlements demi-circulaires se feront dans les espaces intermédiaires ; mais après une suite plus ou moins longue de répétitions, les chances redeviendront favorables au retour des anciennes directions, et ainsi de suite. Ce fait de la répétition de directions analogues dans des soulèvements appartenant à des époques très éloignées l'une de l'autre, est complétement constaté par l'observation (1). Il n'est pas nécessaire d'a-

(1) Tout le monde connait les directions données par M. Élie de Beaumont sur le méridien du lieu, pour les treize soulèvements admis par lui actuellement dans l'Europe occidentale ; nous ferons seulement remarquer qu'ils se partagent, d'après leurs directions, en sept groupes principaux, dont chacun renferme des soulèvements d'âge très différent.

1. Hundsrück, Côte-d'Or.
2. Ballons des Vosges, Pyrénées.
3. Nord de l'Angleterre, Corse.
4. Hainaut, Alpes principales.
5. Rhin, Alpes occidentales.
6. Thüringerwald.
7. Mont-Viso, Tenare.

La reproduction de plusieurs directions à des époques très éloignées, indiquée dès le commencement par M. Élie de Beaumont, est si frappante, qu'à une époque où tous les soulèvements admis aujourd'hui n'étaient pas encore reconnus, M. Le Blanc avait cru y voir une loi de perpendicularité constante entre le soulèvement successif et celui qui, par son âge, le précède immédiatement.

jouter que la direction méridienne du premier soulèvement n'est qu'une pure supposition, qu'elle n'est aucunement nécessaire ; que ce même bossèlement a pu se faire suivant une tout autre direction quelconque, entraînant alors également une position différente des bossèlements successifs. Nous avons dit de même que l'emplacement de ces bombements postérieurs pouvait être dans l'hémisphère où s'est fait le premier, ou bien dans l'hémisphère opposé. Cela est vrai en théorie ; mais dans le fait, M. Élie de Beaumont fait remarquer que l'immense majorité des terres se trouve renfermée dans un hémisphère dont l'Europe occidentale est à peu près le centre ; ce qui tendrait à montrer que les soulèvements se sont plus souvent reproduits d'un même côté du globe que du côté opposé. C'est là une conséquence naturelle des conditions de moindre résistance ; la croûte, surtout dans les époques les plus modernes où elle était plus épaisse, a dû avoir toujours plus de tendance à se briser du côté où elle avait été déjà maintes fois bouleversée et où elle se trouvait plus élevée, que là où elle était encore plus intacte.

Les couches de sédiment qui se sont déposées pendant une période de tranquillité, venant à être relevées et bouleversées, à la fin de cette période, par le soulèvement accéléré et par la rupture, dans toute l'étendue du bombement, M. Élie de Beaumont a fait remarquer qu'on peut distinguer l'âge des dépôts sédimentaires en les mettant en rapport avec les différentes époques d'agitation ; car les couches déposées après un soulèvement n'ont pu être bouleversées par lui, comme celles qui l'étaient avant. Or, les soulèvements s'étant faits parallèlement à des grands cercles, et ayant chacun une orientation différente (1), il suffira d'étudier la

(1) M. de Boucheporn, qui admet le parallélisme découvert par M. Élie de Beaumont, en voulant combattre sa théorie des soulèvements, dit, entre autres choses, que la simple contraction due au refroidissement aurait pour effet d'exclure tout parallélisme de fractures ; il donne à ce propos l'exemple « d'une pomme qui se flétrit et se dessèche, et dont » la peau, attirée par la partie intérieure en tous ses points, ne forme » pas des rides parallèles, mais qui se grimace, au contraire, de la façon » la plus capricieuse. » (*Etudes sur l'histoire de la terre*, Paris, 1844, p. 86.) C'est là une comparaison qui confond deux forces physiques complétement différentes dans leurs manifestations : la *force de cohésion* d'une masse molle, humide, et même quelquefois un peu visqueuse, où la résistance variée des fibres organiques, que le dessèchement déchire ou raccourcit, favorisée par l'absence complète de rigidité de la peau, produit toutes sortes de modifications capricieuses ; et la *force de gravité*, la pesanteur, rapprochant uniformément de son centre toutes les parties de l'écorce de la terre, qui, même en adop-

direction générale du soulèvement qui a bouleversé les couches d'une époque donnée, pour pouvoir établir l'identité d'âge des couches dérangées par ce même soulèvement dans des bassins éloignés. Les faits que M. Élie de Beaumont a réunis dans son Mémoire sur les soulèvements des montagnes, et ceux qui sont venus s'accumuler de tous les côtés, ceux que MM. Boblaye et Virlet ont indiqués dans leur grand ouvrage sur la Morée; ceux que M. Alcide d'Orbigny a reconnus en Amérique, etc., etc., prouvent assez la vérité de ce principe. C'est parce que je suis d'opinion qu'il s'est élevé au rang d'un véritable caractère géologique, et qu'en dehors de cela, lorsqu'on s'éloigne des bassins types, on n'a rien de bien certain sur quoi s'appuyer, que je ne crois pas inutile de dire quelques mots sur son application.

Les lois de parallélisme des soulèvements de même âge ont été l'objet d'attaques peu fondées d'un côté, et d'exagérations qui se sont également éloignées de la vérité de l'autre. On a dit que leur auteur avait voulu limiter le nombre des soulèvements brusques aux douze et quelques époques qu'il avait reconnues en France. Ce reproche n'a plus eu de sens, lorsqu'on a vu M. Élie de Beaumont admettre successivement plusieurs époques de soulèvements qui avaient été indiquées par différents observateurs dans les pays les plus divers. Sur ce point la théorie laisse toute latitude, et jamais, j'ose le dire, bien que la largeur nécessaire des zones ou des côtes de bombement, qu'on pourrait peut-être fixer à une moyenne de 15 à 25 degrés, n'ait pas encore été établie par le calcul, et qu'elle ait dû être très variable aux diverses époques, et aller en augmentant dans les périodes les plus récentes, en raison de l'épaisseur toujours plus considérable de l'écorce, jamais il n'a pu venir dans la tête d'une personne raisonnable d'affirmer que toutes ces zones ou tous ces fuseaux, quelle que fût leur direction ou leur emplacement, avaient dû toucher au sol de la France, qui occupe une portion d'étendue aussi minime de la surface ter-

tant les vues de M. de Boucheporn, repose sur son noyau, comme un grand radeau de planches reposerait sur une masse d'eau nivelée, et dont la demi-rigidité ne lui permet pas de se plisser sur un seul et même point dans plusieurs sens à la fois. Lorsqu'on n'a garde de fonder ses arguments en se mettant en une contradiction aussi flagrante avec les premiers éléments de la physique que l'on apprend dans les colléges, il n'est pas étonnant que l'on arrive à des théories nouvelles et éblouissantes. On serait tenté, après cela, de demander à M. de Boucheporn si, en faisant sa comparaison, il a cru par hasard que l'axe terrestre fût aussi matériel que le point d'attache qui se prolonge dans le fruit.

restre (1). On a objecté encore que, dans une foule de montagnes, les directions des couches relevées ne sont aucunement parallèles à l'allure des chaînons; que la plupart des chaînes ne constituent point des lignes droites, qu'aucune ne fait le tour du globe; qu'on voit des chaînes s'arrêter brusquement et donner lieu à des plaines, à un pays ondulé ou fendillé; que des couches d'âge différent présentent souvent des directions analogues, etc., etc. D'un autre côté, on a cru qu'il suffisait, pour obtenir la direction d'un soulèvement, d'aller dans une carrière, ou sur la berge d'un chemin vicinal, la boussole à la main, et de noter les degrés de l'angle que forment les couches relevées avec l'horizon; là-dessus toutes sortes de déterminations et de conclusious qui manquent par leur base.

Il est bon de remarquer d'abord que M. Élie de Beaumont n'a jamais songé à attribuer à la direction des couches, même générale dans une certaine contrée, une valeur absolue pour la détermination de leur âge; et que s'il a avancé que la moyenne des directions des couches relevées peut quelquefois être un point de repère, ce n'est que pour des cas particuliers où l'on peut observer

---

(1) M. Élie de Beaumont vient d'annoncer dans son cours deux nouvelles directinns de soulèvements, dont l'une, à laquelle il a donné le nom de *système de Longmynd*, marcherait entre le N. et le N.-E., et aurait relevé en dernier lieu les couches antérieures au terrain silurien inférieur de M. Murchison; ces couches, dont l'ancienneté relative se montre très distinctement dans le *Cumberland*, prendraient le nom de *terrain cambrien*. On aurait ainsi l'avantage d'effacer le nom de *cambrien*, devenu inexact depuis que les couches qui avaient servi de type, celles du Westmorenland, du Hundsrück, des Ardennes, etc., ont été reconnues appartenir au système silurien inférieur, et de pouvoir y rattacher les couches les plus anciennes de la Bretagne. Le soulèvement du Hundsrück viendrait se placer définitivement après le dépôt du terrain silurien et de certaines couches rangées peut-être improprement dans le terrain dévonien; les directions de ce terrain dans les Ardennes, dans la Basse-Bretagne, etc., rentreraient donc dans le droit commun. M. Élie de Beaumont fait observer que la disposition du grauwackengebirge de la Laponie dépend de ce même soulèvement.

Un deuxième soulèvement nouveau est celni que M. Grüner, professeur à Saint-Étienne, a reconnu avoir agi sur les couches houillères de ce bassin. Ce relèvement, qui se serait fait dans la direction N. 20° O., servirait à expliquer une quantité de faits, et entre autres l'absence en France du calcaire carbonifère dont le dépôt en Angleterre et en Belgique aurait précédé ces dislocations.

Ce dernier système vient se grouper avec les soulèvements du Mont-Viso et du Tenare. Le système de Longmynd se rapproche de la direction de celui du Rhin et de celui des Alpes occidentales.

des directions constantes sur de grandes étendues. M. Élie de Beaumont ne recommande ce caractère principalement que comme étant utile pour les régions, où le manque de roches massives alignées ne donne aucun autre moyen pour juger de la direction des soulèvements ; mais il insiste sur ce qu'on ne saurait tirer des conséquences acceptables qu'en se fondant sur l'observation des lignes générales des bosselures terrestres. Ce sont là les opinions que j'ai toujours entendu émettre à M. Élie de Beaumont dans ses cours. Pour répondre aux autres objections, nous allons analyser les phénomènes qui doivent résulter à la surface par suite des mouvements indiqués.

Le *premier soulèvement séculaire*, qu'il se soit fait sur une zone ou sur une surface analogue à une côte de melon, n'a pu produire sur les couches superficielles que des *fentes* ou des *rides*, les unes et les autres parallèles, à peu de chose près, à la bosselure. Considérons d'abord une zone de bombement, il se fera : *a* des fentes dans les parties les plus faibles de la bande médiane de cette zone. Ces fentes, dirigées dans le sens du soulèvement, auront été accompagnées çà et là de quelques autres petites fentes transversales, résultant de la tension longitudinale produite par l'allongement des diamètres du grand cercle de la sphère. Nous avons au croisement de ces deux systèmes de crevasses autant de points favorables à l'emplacement des foyers d'éruption postérieurs ; *b* des rides, résultant d'un soulèvement indirect des couches sédimentaires supérieures, dans les zones limitrophes des deux côtés du bossèlement. Car, à cause de sa répartition sur une étendue incomparablement plus grande, l'affaissement général et tranquille de l'écorce en dehors de la zone soulevée, ne pouvait pas être aussi considérable que l'élévation du sol dans cette même zone ; il a dû donc en résulter, aux deux limites latérales du bossèlement, une grande pression horizontale analogue à celle qui produit les effets qu'on observe sur la partie concave d'un bâton vert recourbé. Pendant cette action du soulèvement séculaire de la zone de bombement, les bandes limitrophes ont dû se trouver comme renfermées dans une dépression pour l'élèvement démesuré d'un côté; bien plus, à cause du peu de flexibilité de la croûte terrestre relevée, il a dû se produire dans ces mêmes bandes pendant la durée entière du soulèvement, un enfoncement graduel du sol ; ce qui, dans les périodes successives, nous expliquera parfaitement et l'existence de dépôts riverains dont la puissance serait incompréhensible différemment, et la formation de ces tourbières immenses, qui ont donné lieu à des dépôts de combustibles

d'une épaisseur étonnante (1). Ces mouvements généraux ont poursuivi leur cours régulier en même temps que des relèvements et des écroulements partiels très nombreux, et des dégagements de gaz de l'intérieur, ont pu modifier temporairement plusieurs parties de cette croûte incohérente qui subissait des efforts aussi puissants; de là, des tremblements du sol plus ou moins violents. A l'époque de la rupture, les fentes, dont la direction avait été préparée peu à peu par la tension transversale dans la partie convexe de la zone soulevée, se sont ouvertes; les rides des bandes latérales qui n'existaient qu'à l'état de rudiment, se sont développées. Plusieurs crevasses se sont changées en grandes failles. Dans d'autres, des colonnes du fluide incandescent poussées violemment par la pression intérieure, ont monté; leur poids réagissant sur les zones limitrophes a empêché la croûte de se briser au-dessous d'elles et de se replier complétement; elles ont soulevé d'une manière directe les parties solides adjacentes. D'où, formation de nouvelles rides, soit entre deux relèvements partiels, effets des émersions particulières de deux cheminées parallèles et placées sur un même méridien de la zone de bombement; ou bien sur les côtés immédiats des lignes de rupture, où les couches ont dû être différemment plissées, bouleversées, et même renversées par la pression qu'exerçaient latéralement les masses encore pâteuses (2). Entre la partie convexe formée par le soulèvement qui s'est fendillée, et les parties latérales qui se sont ridées, il a dû rester deux bandes parallèles où la tension s'est trouvée en équilibre; là, rien de bien apparent n'est arrivé à la surface, et pourtant le sol n'en a-t-il pas moins peut-être été exondé graduellement. Les roches éruptives en se refroidissant ont dû subir un grand retrait; de là, formation de nouvelles failles qui, elles aussi, ont dû être sensiblement dans la direction du soulèvement.

---

(1) Théorie des terrains houillers de De Luc, développée et mise au niveau de la science par M. Alexandre Brongniart (*Tableau des terrains*, etc., Paris, 1829).

Mém. géol. et paléont. de M. Boué, t. Ier.

Mém. de M. Elie de Beaumont, dans le n° 15 de la *Revue française*, 1830.

Mém. de M. de Collegno sur le gisement de la houille en Europe, etc., etc.

(2) Ce sont ces rides par pression latérale que Hutton a reconnues, que sir James Hall a si bien décrites, auxquelles Saussure a donné le nom de *refoulements*, mais sans que ni les uns ni les autres se doutassent encore de la grandeur et des lois générales du phénomène.

Que si la bosselure, au lieu d'avoir été zonaire, ne s'est faite que sur un espace plus circonscrit et semblable à un fuseau, tous les effets indiqués pour la zone de bombement auront également lieu à la surface, seulement ils seront encore plus compliqués. Ainsi, nous aurons des fentes dans la bande médiane de la côte; mais ces fentes se multipliant parallèlement sur une grande largeur au milieu du bombement, seront singulièrement réduites aux deux bouts du demi-cercle; ici, tout le mouvement finira par se résoudre en un nombre plus ou moins grand de rides divergentes qui disparaîtront insensiblement. Les rides des bandes latérales et l'enfoncement graduel au-delà de ces mêmes bandes auront également lieu, mais elles ne pourront affecter un parallélisme absolu que dans la partie où le soulèvement acquiert son maximum de largeur; ce n'est que dans ce cas, ou bien le long de la ligne médiane longitudinale de la bosselure, qu'elles coïncideront complétement avec la direction générale de cette dernière. Le soulèvement par côte de melon exigera enfin une quantité de pression beaucoup moins grande, mais les périodes séculaires seront plus courtes et les moments d'agitation plus fréquents. La croûte terrestre sera moins généralement bouleversée à l'époque de la rupture; mais étant obligée de se déformer, quoique légèrement, sur toute sa surface, afin de pouvoir se rapprocher, sans déchirures transversales, à l'endroit du bombement, il en résultera, pendant la période tranquille qui la précède, des tiraillements, des soulèvements ou des enfoncements locaux, produits par les pressions horizontales entre les différentes pièces qui la composent; multiplicité d'effets variés et partiels qui est bien en rapport avec l'état de l'écorce solide telle qu'on l'observe sur la surface terrestre, et avec son instabilité reconnue (1). Les chaînes de montagnes seront

(1) Il est parlé ici des tiraillements que subit l'écorce comme d'un effet complexe, mais dépendant du soulèvement lent qui a lieu suivant une zone ou un fuseau. Que si, comme dans la note (1), à la page 24, l'on admet que la période de tranquillité commence par des tiraillements de toute espèce, au lieu d'être signalée par l'avénement d'un nouveau système qui se développerait peu à peu, ces tiraillements ne doivent plus être regardés que comme les avant-coureurs et les préparateurs pour ainsi dire du soulèvement instantané. Dans tous les cas, il est certain que des tiraillements doivent se faire, et qu'ils ont lieu pendant tout le cours de la vie du globe. Dans la situation forcément hypothétique où se trouvent toutes ces questions, il ne nous reste qu'à souhaiter vivement que des calculs exacts puissent bientôt venir répandre une lumière plus claire sur la géogénie. Peut-être trouvera-t-on

plus limitées dans leur étendue; car, non seulement au moment de la rupture l'action soulevante se partagera sur une multitude de chaînons isolés et en rapport avec les crevasses qui se sont produites, ainsi qu'il arrive lors du soulèvement zonaire; mais les deux extrémités de la bosselure devant passer par un état intermédiaire avant que les rides qui en font la suite soient obligées de remplacer le fendillement, ces crevasses ne se prolongeront pas même sur toute la longueur du bossèlement demi-circulaire. L'étendue longitudinale de la partie montagneuse ne pourra donc atteindre qu'un tiers environ de la périphérie du grand cercle (1).

Dans le premier soulèvement arrivé sur une surface très peu accidentée, et où les mouvements sont réduits à leur plus simple expression, les fentes, les rides, et les contournements des couches, à l'exception des plissements qui ont dû se faire près des cheminées d'émersion, et qui ont dû être en tous sens autour des masses d'épanchement, avaient toutes un alignement sensiblement parallèle à la direction générale de la zone de bombement. En prenant la moyenne d'une seule ride, on aurait pu en conclure l'orientation de tout le soulèvement. Un seul cataclisme ayant eu lieu, les couches relevées avaient été nécessairement dérangées lors de cette catastrophe. Plus tard, il n'en fut plus ainsi : les périodes vinrent s'ajouter aux périodes, les soulèvements aux soulèvements; ceux-ci s'entrecroisèrent de mille manières différentes. Dans les dernières époques, les fractures des bossèlements devinrent moins fréquentes, mais les nouveaux soulèvements qui en résultèrent étant beaucoup plus considérables, en raison de l'accroissement de l'épaisseur de l'écorce, masquèrent fort souvent les plus anciens (2); des points de la surface furent affectés par plusieurs ruptures suc-

---

alors que les mouvements de la croûte terrestre et les catastrophes qui s'ensuivent, dépendent à la fois un peu de toutes les différentes causes que nous sommes obligés de supposer aujourd'hui, et qui ne se présentent à nous qu'enveloppées des ténèbres du mystère.

(1) *Leçons orales de l'Ecole des mines.*

(2) L'observation, constatée sur toute la surface du globe, que les plus hautes montagnes sont progressivement celles qui ont dérangé les couches les plus récentes, et par conséquent qui ont été formées en dernier lieu, est une preuve remarquable en faveur de ces théories. Les bouleversements les plus anciens n'ont formé que des plateaux déchirés ou des montagnes comparativement petites comme celles de la Scandinavie ou du nord de l'Allemagne et de la France; les Pyrénées, les Alpes, l'Atlas, le Caucase, les Andes, l'Himalaya, doivent aux dernières catastrophes leur principal relief.

cessives, d'autres ont été renfermés entre les bombements de plusieurs soulèvements. Des masses liquides ou pâteuses de toute nature remplirent à plusieurs reprises des crevasses qui s'étaient formées; les oscillations de ces colonnes liquides tendant à regagner l'équilibre après être montées dans les cheminées d'émersion, produisirent des réactions de pression à l'intérieur, qui se traduisirent en dyckes et en filons pénétrant dans les parties fendillées (1). D'anciennes masses plutoniques déjà solidifiées furent relevées une deuxième et une troisième fois, sans que la pâte incandescente arrivât toujours à se procurer une issue sur un ou plusieurs côtés. Les couches environnantes ont été alors rejetées vers tous les points

(1) Pour que de tels effets se produisent, il n'est pas nécessaire que la matière ignée soit à l'état liquide; il suffit qu'elle soit pâteuse. C'est même là l'état auquel se trouvaient les colonnes dont nous parlons, chaque fois qu'il y a eu redressement direct. Jamais, dans ce cas, la matière intérieure n'a été amenée liquide à la surface. Les granites dans l'axe des chaînes montagneuses, les trachytes au milieu des cirques de soulèvements, etc., étaient, lors de leur épanchement, dans un état de demi-consistance; lorsque les roches plutoniques venant de plus bas étaient liquides, elles n'ont fait que remplir des fentes, elles n'ont rien soulevé. Ce fait, que nous observons sans exception, est une des preuves que ces masses pâteuses sont véritablement la cause du soulèvement direct, lequel n'est que le produit de la réaction de ces mêmes masses en ascension, et de l'inertie des couches préexistantes. Cet état pâteux est bien analogue à celui que nous connaissons dans le fer ou dans le quartz fondu; la matière d'émersion a pu se trouver à cet état par plusieurs causes différentes, soit qu'elle appartînt à cette couche intermédiaire participant à la fois des propriétés de la croûte et de celles du noyau, et qui a dû se présenter la première pour le remplissage des fentes produites; soit que, dans le bombement, toujours plus saillant, qui a préparé la rupture, elle ait eu le temps de se refroidir davantage; soit encore qu'elle se trouvât dans un état de combinaison particulier qui lui a permis de rester pâteuse à des températures fort différentes, ainsi que cela paraît avoir eu lieu pour le granite.

L'état de combinaison dans lequel les granites se trouvaient lors de leur émersion est une des questions les plus importantes de la géologie, et qui se rattache aux phénomènes de métamorphisme et à toutes les grandes lois de la science. Ne pouvant nous occuper pour le moment que des phénomènes mécaniques qui régissent toute la géologie, il ne nous est pas permis de l'aborder; cette question n'en reste pas moins une des plus intéressantes, et, quoique les belles découvertes de M. Scheerer (*Uiber eine eigenthümliche Art der Isomorphie, welche eine ausgedehnte Rolle im Mineralreiche spielt;* von Th. Scheerer in Christiania; *Ann. de Poggendorff,* t. LXVIII, et *Bull. de la Soc. géol. de Fr.*, séance du 15 février 1847) lui aient fait faire un grand pas, elle n'est point encore résolue.

de l'horizon ; de grandes fractures ont été déterminées dans le sol ; elles rayonnent autour du point ou du chaînon relevé. Parfois, des masses pâteuses se sont répandues sur des couches peu inclinées ; leur retrait de refroidissement a alors entraîné les tranches de ces couches, de manière que les roches sédimentaires ont l'air de plonger au-dessous des masses plutoniques. C'est ce que j'ai vu entre autres à Wettin, près de Halle (Saxe prussienne), où les couches houillères s'inclinent et vont s'enfoncer au-dessous des porphyres qui les ont débordées. Lorsque la pâte injectée venait en contact avec des roches de la surface, et que, par sa température ou par les émanations de quelque nature qu'elles fussent, liquides ou gazeuses, qui ont toujours accompagné les épanchements de l'intérieur, elle a produit des altérations sur les roches avoisinantes, ou lorsqu'elle y pousse des filons, il est facile d'en conclure que les roches qu'elle traverse ont préexisté ; que si la masse plutonique n'a été que relevée, alors tout moyen de contrôle cesse. Des courants partis de soulèvements postérieurs dénudèrent les couches fracturées précédemment, et en portèrent les débris au loin. Des soulèvements, traversant par leur direction une ancienne bande de ridement, y produisaient des fentes ou des chaînons ayant une direction quelquefois à angle droit avec celle des couches préexistantes, ridées et souvent déjà rasées par la dénudation. Nous avons dans ce cas des couches relevées fort anciennement, et qui pourtant forment le corps de montagnes ayant une tout autre direction, et dont l'âge est infiniment plus récent. D'autres fois, des couches horizontales, comprises dans l'étendue d'un soulèvement postérieur, ont été entraînées dans la direction des couches plus anciennes relevées suivant un tout autre alignement, ou bien des couches d'une telle époque, respectées par plusieurs soulèvements successifs, ne furent dérangées que plus tard. Les soulèvements brusques surtout ont été accompagnés d'une quantité d'affaissements partiels qui donnent aux couches toutes sortes de directions. Parfois c'est le soulèvement séculaire qui a eu le plus d'influence dans la formation des continents (1), et alors on n'a d'autre indice

(1) M. Rozet (*Bull. de la Soc. géol. de Fr.*, vol. XII, 1re série) admet, parmi les causes du changement relatif des niveaux des terres et des mers, les variations que la gravitation a dû éprouver sur les différents points du globe, par suite des déplacements de la matière qui s'accumule dans les bossèlements successifs. Les travaux géodésiques et les observations astronomiques, les résultats obtenus par le pendule et par le baromètre s'accordent, dit-il, à nous montrer que le niveau moyen des terres et des mers est loin d'être conforme dans tous les points du globe, à la surface d'un ellipsoïde de révolution ayant $\frac{1}{302}$ ou

de ce relèvement, qui a porté à des milliers de pieds de distance verticale le niveau de couches, restées d'ailleurs parfaitement horizontales (1), que dans les lignes d'anciens rivages, dans les roches percées par des mollusques saxicaves de l'époque, etc. (2) ; c'est

---

$\frac{1}{307}$ d'aplatissement, forme régulière la plus rapprochée avec laquelle on puisse comparer les limites de notre planète; il existe des portions fort étendues du continent qui sont plus basses que le véritable niveau moyen de la mer, sans que pour cela elles soient envahies par les eaux; d'autres où la mer remonte bien au-delà du point où l'ellipsoïde indiqué serait osculateur à son niveau. Il est certain que les eaux de la mer doivent s'accumuler en excès à l'approche des continents, et surtout des continents très élevés, et que la surface de ces eaux ne saurait répondre d'une manière exacte à la convexité de la terre; mais si l'on a égard à l'importance infiniment petite des bossèlements, et surtout des plus anciens, par rapport au rayon terrestre, on ne saurait accorder à cette cause une très grande influence dans la répartition des terres et des mers Car l'attraction des eaux vers un point déterminé ne pouvant se faire qu'à la suite d'une accumulation de matière, le soulèvement a dû toujours précéder et dépasser de beaucoup les changements de niveau du liquide. Le niveau de la mer est, à la Rochelle, au-dessous de la surface de l'ellipsoïde; mais, pour qu'il pût la dépasser, il faudrait d'abord qu'un bombement se fît du côté du continent, bombement qu'il ne pourrait que suivre de loin, et qui très probablement restreindrait encore davantage les limites de l'Océan au lieu de lui permettre de s'avancer dans les terres. Il ne faut pas oublier d'ailleurs que les petites différences qu'on observe entre le niveau moyen des eaux de plusieurs contrées du globe sont probablement dues en grande partie aux courants sous-marins qui sillonnent constamment l'Océan. Or, si un soulèvement a lieu au loin, et qu'à sa suite la disposition des mers, et partant la marche des courants, vient à être changée, il y aura également sur les points en question un changement relatif du niveau des terres et des mers. C'est là une cause d'immersion, et même de translation de matières qui me paraît plus réelle que les variations dans la pesanteur par suite des ridements terrestres, et qu'il ne faudrait pas perdre de vue, car elle a pu avoir des effets partiels assez considérables.

(1) Lorsqu'il n'y a pas de causes locales particulières, la déviation de l'horizontale produite par la courbure du bossèlement est infiniment petite et ne saurait être appréciable à l'œil.

(2) Les recherches de ce genre sont d'une importance encore plus grande lorsqu'il s'agit des époques anciennes que pour l'époque actuelle. Personne n'a oublié le fait intéressant signalé par M. Deshayes, qui a trouvé en Belgique la craie inférieure superposée au calcaire de transition percé par des coquilles lithophages de l'âge de la craie (*Rapport de M. Boblaye sur les travaux de la société pour* 1832). Si ce fait n'indique point un soulèvement lent, ce dont, ne connaissant pas l'état des lieux, je ne peux juger, il est toujours une preuve de la hauteur à

le cas qui se présente actuellement entre autres pour la Scandinavie (1). D'autres fois, au contraire, c'est à la suite des ruptures brusques qu'un des côtés de l'écorce bosselée est retombé au-dessous du niveau moyen, en même temps que les matières d'épanchements soulevaient de hautes chaînes de montagnes (2). Ici un certain bossèlement ayant passé, les couches de la formation qui l'a précédé ou de celle qui l'a suivi sont discordantes; plus loin, l'affaissement général qui l'a accompagné n'a pu causer sur leur gisement réciproque aucun effet sensible.

Dans les époques secondaires et tertiaires, après que plusieurs soulèvements séculaires et plusieurs ruptures ont eu partagé la surface en mers profondes et en continents, une autre cause d'incertitude est venue s'ajouter à tant de complications et à accroître encore davantage les difficultés du géologue. De par les lois isothermes, la surface intérieure de la croûte terrestre est forcée de suivre une ligne ondulée en rapport direct, quoique éloigné, avec les différences de niveau du fond des mers et des continents. Le soulèvement zonaire ou en forme de côte qui vient passer sous une surface aussi inégale, produit, lui aussi, des fentes et des rides tout comme le premier soulèvement séculaire; mais, abstraction

laquelle arrivaient à un certain temps les eaux crétacées, et de la profondeur où s'est fait le dépôt.

(1) Observations de M. de Buch et de M. Al. Brongniart (*Tableau des terrains qui composent l'écorce du globe;* Paris, 1829; Bruxelles, 1838, p. 108; et *Comptes-rendus* de Berzélius pour 1826, p. 292). Voyez également le Mémoire de M. Keilhau (*Magazin for naturvidenskaberne*, 2e série, vol. I), et celui de M. Lyell (*Philosophical Transactions*, 1835), ainsi que le Rapport de M. Élie de Beaumont sur les Observations de M. Bravais dans le Finmark (*Comptes-rendus de l'Acad. des sc.*, t. XV, p. 817, 1842).

On sait, d'après les sondages (*Recherches sur la partie théorique de la Géologie*, par M. de la Bèche, trad. de M. de Collegno, 1838, p. 135), qu'une élévation du sol de cent brasses suffirait pour mettre à sec toute la mer du Nord, une grande partie de la Baltique et les mers intérieures de la Grande-Bretagne sur une étendue d'un grand nombre de millions de mètres carrés, et que toute cette vaste région conserve à peu près un niveau constant. Si, comme l'a pensé M. Le Blanc (séance du 25 janvier 1841), « l'exhaussement actuel des côtes de la » Baltique indique la direction d'un grand soulèvement futur; » si le soulèvement lent de la Suède continuait à agir jusqu'à cette limite, on aurait là une immense plaine où rien ne révèlerait une action soulevante déterminée.

(2) M. Élie de Beaumont fait remarquer l'alignement de plusieurs chaînes, telles que celle des Andes, par exemple, et celle de la côte de Mozambique, etc., qui suivent la limite des continents.

faite même des croisements et des dérangements locaux préexistants, ces fentes et ces rides seront sujettes à suivre dans plusieurs cas des alignements autres que celui du bossèlement. Il en résultera toujours des fentes sur la surface d'un continent élevé au-dessus du niveau moyen des ondulations de la croûte ; ces fentes seront exposées, il est vrai, à suivre pendant quelque temps la direction des crevasses antérieures ; elles passeront souvent autour d'un massif igné peu étendu, au lieu de le diviser, etc. ; mais leur marche générale ne s'éloignera pas beaucoup de celle du soulèvement ; la matière ignée venant occuper ces fentes, engendrera des montagnes qui s'arrêteront, et quelquefois même brusquement, là où commence l'action que nous allons indiquer.

Le remplissage des bassins profonds sous-marins se fait en général d'abord par un dépôt en couches d'épaisseur inégale qui bouche toutes les parties les plus profondes et donne à la surface du fond une inclinaison faible, il est vrai, mais assez sensible pour que les sédiments supérieurs, bien que s'approchant continuellement de l'horizontale au moyen d'une plus grande épaisseur de leur milieu, finissent par présenter toujours une certaine concavité qui suit au moins de loin les formes du bassin originaire (1). Lorsque le soulèvement séculaire, quittant le continent

(1) Un des hommes qui ont fait faire le plus de progrès à la géologie, M. de la Bèche, admet (*Rech. sur la p^ie. théor. de la Géologie*, trad. de M. de Collegno, p. 34 et suiv.) qu'à l'extrémité des deltas d'embouchure il peut se former, dans certaines circonstances, des couches de 30° à 40° d'inclinaison ; je crois, avec M. de Collegno (note à a p. 54 de *l'Art d'observer en géologie*), que ce mode de dépôt ne forme jamais de véritables couches. S'il y a un cas, à mon avis, où il soit possible et même nécessaire que des couches à surfaces sensiblement parallèles se forment dans une position assez inclinée, ce ne peut être lorsqu'un courant qui se traîne sur le sol tend par son action même à égaliser les matières qu'il charrie ou qu'il trouve accumulées ; cela ne saurait arriver que dans un bassin profond, où des courants superficiels amènent des eaux chargées de matières en suspension ; ces matières, retombant après le ralentissement du courant, viendront se déposer tranquillement sur le fond, au-dessous de la portée du mouvement des vagues, et rien n'empêchera qu'elles ne forment un sédiment d'une épaisseur à peu près constante, et qui suivra assez bien les irrégularités du sol. D'après les expériences de M. Bravais dans le Nord et de M. Aimé à Alger, l'agitation des vagues se communique jusqu'à 30 et 40 mètres de profondeur ; on s'aperçoit, par l'aspect de la surface de la mer, de l'approche du banc de Terre-Neuve, qui est à 160 mètres au-dessous du niveau des eaux ; on sait également que l'action des vagues se fait encore sentir, quoique faiblement, à 188 mètres, à l'île de Bourbon. Ce n'est

où il a préparé des fentes et des montagnes, vient à passer inférieurement à un de ces bassins qui se trouvent au-dessous du niveau moyen de la croûte ondulée, les couches de sédiment qui y sont étendues et qui peuvent être récentes, ou mieux encore appartenir à une autre époque et avoir été recourbées en bassins même très concaves par des soulèvements antérieurs, subiront, par le seul fait du relèvement vertical du fond et de la diminution de sa capacité, une pression latérale puissante qui tendra à y former des rides. Or, la direction de ces rides lentement préparées et développées par le soulèvement séculaire, augmentées et exagérées au moment de la rupture, sera toujours en rapport soit avec la direction des couches relevées plus anciennes qui les supportent, soit avec la forme des bassins ; car il est évident que, toutes circonstances égales d'ailleurs, la direction de ces rides sera toujours suivant le sens de la plus grande longueur des mêmes bassins, c'est-à-dire dans le sens où un nombre moindre de rides suffit pour satisfaire le mouvement (1). M. Élie de Beaumont a fait re-

---

donc qu'au-dessous d'une profondeur moyenne de 200 mètres qu'il peut se former des dépôts en couches assez inclinées. Mais de telles profondeurs ne se trouvent dans les cas ordinaires que bien avant dans la mer, où les seules matières qui peuvent être encore mécaniquement conservées par les eaux sont aussi fines que des argiles, ce qui empêche encore le résultat que nous venons d'indiquer ; car, ainsi que M. Élie de Beaumont l'a souvent rappelé au Collége de France, les dépôts argileux se font à la manière des précipités chimiques ; les molécules solides répandues dans le liquide se condensent vers le fond pour former une bouillie épaisse qui naturellement va occuper les parties les plus basses et qui ne s'éclaircit par la sédimentation que bien peu de temps après et très lentement. Il se fait donc dans ce cas un dépôt également presque horizontal. Ce n'est, par conséquent, que dans des conditions exceptionnelles, là où des forts courants superficiels existent dans des mers profondes, et plutôt lorsqu'il s'agit de dépôts sableux et fins, et non de dépôts de sables grossiers et de galets, ou de sédiments calcaires qui, par suite des conditions d'existence des animaux sécréteurs, n'ont pu s'effectuer que dans les bas-fonds, qu'on peut attribuer une cause originaire naturelle à des couches faiblement inclinées ; et cette inclinaison même ne saurait atteindre les limites extrêmes que M. de la Bêche et plusieurs autres géologues ont cru pouvoir lui attribuer : encore faudrait-il en excepter les endroits soumis à l'action de courants sous-marins profonds, comme ce serait, par exemple, celui qui, sur les côtes du Chili, remonte vers l'Équateur.

(1) Supposons que la rupture d'un bossèlement parallèle au grand cercle méridien de Paris vienne soulever par deux chaînons, d'un côté l'arête longitudinale de la Grande-Bretagne, de l'autre côté, la bande, qui lui est sensiblement parallèle, du Danemark et de la Norwége

marquer que le fond des bassins, même les plus profonds, lorsqu'ils dépassent une certaine étendue, doit participer à la convexité de la surface terrestre. Dans ce cas, la partie du fond qui est soumise à cette loi sera sujette à se fendiller à la manière des continents; mais les couches récentes qui recouvrent le fond des bords des bassins, lorsqu'il est concave, au-delà des bas-fonds qui entourent souvent les côtes, et des alluvions d'embouchure (1), seront forcées de se plisser, et cela dans un sens analogue à la marche du rivage. Si donc, par hasard, la direction du soulèvement se trouve couper le rivage à angle droit, celle des rides lui sera perpendiculaire. Les terres dont le niveau de la surface approche du niveau moyen de la croûte terrestre seront fendillées elles aussi, mais elles ne donneront lieu ni à des montagnes ni à des rides; elles ne présenteront que peu de traces de la révolution qu'elles ont subie. Ces effets doivent avoir été surtout sensibles pendant les dernières périodes primaires et pendant toutes les périodes secondaires; car alors l'écorce du globe était déjà suffisamment inégale et elle n'était pas encore aussi épaisse que plus tard (2). Le poids de puissants dépôts marins a pu avoir également une certaine influence dans les inflexions de l'écorce terrestre, surtout lorsqu'elle était encore faible et lorsqu'il y avait déjà une tendance au mouvement. M. Élie de Beaumont, qui s'est

---

méridionale. Ce soulèvement relèvera les deux côtes est et ouest de la mer du Nord, et, suivant le degré de son étendue verticale, il plissera les couches récentes déposées dans ce bassin peu profond, ou bien il se bornera à les recourber; dans ce dernier cas, le fond du bassin aura acquis une plus grande concavité sans que les couches en soient sensiblement dérangées. Mais qu'un soulèvement postérieur vienne passer dans quelques millions d'années, sous cette même mer; alors si le fond a été plissé, il y aura exagération de ces plis; que s'il n'a été rendu que concave, à commencer d'une certaine distance des côtes où il n'aura pas été beaucoup encombré par des dépôts postérieurs, il sera obligé de se rider. Quelle que soit la direction du nouveau soulèvement, les rides marcheront dans le sens de la plus grande longueur du bassin, c'est-à-dire du sud au nord.

(1) D'après les calculs de M. Élie de Beaumont, un talus dont le maximum n'est que 2°,50′, ne commence, dans l'Atlantique qu'à une assez grande distance des terres, au-delà du contour des sondes de 100 brasses. Les bas-fonds qui entourent les côtes sont souvent produits par l'action destructive et égalisante de la mer; c'est surtout sur les côtes anciennes et formées par des roches tendres que cet effet est très apparent.

(2) Les calculs des conditions de concavité ou de convexité du

servi de ces considérations pour expliquer dans certains cas l'épaisseur très grande de quelques dépôts riverains des époques reculées, admet que ces dépôts ont pu exercer parfois l'action du dernier grain que l'on ajoute sur l'une des deux balances en équilibre (1). Dans ce cas, si le bassin est concave, il y aura ridement dans le sens longitudinal, et le mouvement sera d'autant plus facile que les rivages se rapprocheront en s'abaissant; des formations plus ou moins considérables de combustible pourront se rattacher à ce phénomène. S'il est convexe, son enfoncement deviendra beaucoup plus difficile, il ne pourra s'exécuter qu'au

---

fond d'un bassin hydrographique sont d'une simplicité élémentaire :

Soit m la profondeur du bassin,
c sa demi-largeur,
R le rayon terrestre;

On aura $$c^2 = m(2\,R - m)$$

D'où $$m = \frac{c^2}{2\,R - m}$$

Et nous obtenons les conditions suivantes :

$$m > \frac{c^2}{2\,R - m} \quad \text{concavité}$$

$$m = \frac{c^2}{2\,R - m} \quad \text{limite}$$

$$m < \frac{c^2}{2\,R - m} \quad \text{convexité}$$

Si nous appliquions ceci au cas d'un bassin qui aurait 2,000 mètres de largeur, et par suite, pour lequel $c = 1{,}000$; nous aurions pour condition de concavité

$$m > \frac{1{,}000^2}{2\,R - m}$$

et nous ne trouverions pour valeur limite de m qu'un peu plus d'un mètre.

(1) On pourrait peut-être expliquer de cette manière le rétrécissement de certains bassins pendant le cours même d'une période tranquille, fait qui vient répandre le doute sur la question si un dépôt inférieur dépassant de toutes parts un dépôt supérieur, doit être par cela seul attribué à une période plus ancienne. Le lias de certaines parties de l'Europe se trouve dans ce cas.



moyen d'un ridement, et il y aura pression contre ses bords, ce qui pourra déterminer un relèvement réel des côtes. Mais, en général, la plus grande masse des sédiments se faisant à peu de distance des côtes, l'effet probable pour les bassins très étendus, et par conséquent convexes, serait de faire plonger lentement le rivage pour soulever le milieu des continents et le fond du centre des bassins, ce qui serait en opposition à la majorité des faits observés actuellement, où ce sont, au contraire, les côtes qui se relèvent. Réfléchissons d'ailleurs que la partie des terres qui est émergée, en raison de son poids spécifique qui est plus du double de celui de l'eau, doit tendre à établir un niveau général uniforme, ce qui n'arrive pas pour les terres qui sont au-dessous du niveau de l'Océan, puisqu'elles perdent beaucoup de leur poids.

Les plaines ne se sont formées en couches horizontales que par abaissement lent pendant le dépôt, et presque toutes ont été mises à sec par soulèvement lent. Le fond d'un grand nombre de vastes plaines de la surface terrestre est formé par des couches ridées, plissées, ou même repliées et rasées quelquefois par une dénudation postérieure, sans qu'on puisse y découvrir aucune roche ignée autrement qu'alors que des soulèvements plus récents les ont relevées encore une fois par leurs tranches. Ces couches sont souvent si peu inclinées, que c'est à peine si les métamorphoses qui sont arrivées au moyen d'émanations dans les axes de leurs rides, viennent témoigner de leur position dérangée, malgré l'absence de toutes roches plutoniques, qui, en s'élevant au-dessous, et même en restant cachées, auraient dû les briser et écarter les côtés des fentes en les soulevant. Les travaux de Hoffmann sur le nord de l'Allemagne; le magnifique ouvrage de MM. Murchison, de Verneuil et de Keyserling sur la Russie; les descriptions des Alléghanys; celle de la Bretagne, par M. Dufrénoy; les beaux Mémoires de M. Dumont sur le sol de la province de Liége, et de MM. Thurmann et Rozet sur le Jura; et bien d'autres ouvrages descriptifs témoignent, par les coupes qu'on peut y étudier, de l'importance de ces ridements par pression latérale, de ces relèvements des couches indirects et indépendants des roches d'émersion, qui peuvent résulter soit du recourbement de la surface supérieure d'une certaine zone entre deux chaînons d'émersion, soit du simple relèvement ou enfoncement vertical du fond des bassins.

Ce que nous venons de dire suffit pour montrer tout ce qu'il y a de rude dans le métier du géologue, et combien ce serait hasardé

de vouloir pousser un principe juste et fécond au-delà des limites qu'une main de maître a su lui tracer. Le caractère géologique qui découle de toutes ces considérations est le seul qui nous amène à des résultats certains ; mais, pour s'en servir, il faut savoir faire la part à tous les mille et un accidents locaux ; il faut étudier la surface des couches et suivre patiemment les formations quelquefois sur des centaines de lieues ; il faut principalement avoir égard aux alignements des roches massives, aux fentes, aux failles et aux rejets des vallées ; aux cours des rivières qui souvent sont en rapport avec ces phénomènes. Il faut considérer plutôt les couches relevées directement à quelque distance de ces mêmes roches, que celles qui doivent leur inclinaison aux pressions latérales indirectes et variables, et avoir bien soin, avant de rapprocher la direction générale observée dans une contrée, d'un des soulèvements adoptés pour un autre pays, de réfléchir d'abord si, d'après la longueur probable des bombements, le soulèvement qu'on prend pour modèle peut passer par cette contrée ; ensuite de déterminer la direction que ce soulèvement doit avoir sous le méridien du lieu (1) Pour arriver à de bonnes déterminations, on doit mettre également à contribution la pétrographie, en étudiant bien l'aspect des roches (2) et la nature des galets qui composent les différents

(1) M. Élie de Beaumont n'a cessé d'appeler l'attention sur ce point ; il n'est, en effet, que trop aisé, lorsqu'on rapproche des directions dans des pays éloignés, de faire abstraction de la courbure du globe, et de ne point songer à ce qu'à l'exception de ceux qui sont parallèles à l'équateur, les bossèlements, à mesure qu'on les poursuit, viennent couper chaque nouveau méridien sous un angle différent ; de manière qu'un soulèvement qui, de Paris, marcherait vers le N.-E., ne pourrait arriver aux antipodes qu'avec une direction N.-O. absolument contraire et à angle droit avec la première. Cette circonstance est trop évidente pour qu'il ne suffise pas de l'avoir indiquée ; en calculant l'angle sphérique formé par le grand cercle de soulèvement avec le méridien du lieu, ou bien en construisant les directions sur un globe suffisamment développé, on parviendra aisément à des données exactes ou approximatives.

(2) J'entends par *aspect des roches* ce faciès général que conservent presque toujours les composants d'un même étage, et dont un œil exercé peut découvrir les traces, soit dans des circonstances accidentelles communes, soit encore entre une roche métamorphosée et son analogue à l'état naturel. Le faciès général dont nous parlons, qui tient ordinairement à un certain mode de structure originaire des roches, est un véritable caractère auxiliaire, quoique empirique, qui est bien autrement important que celui qu'on tirerait de la classification